

NICOLAS FLORIANI

**AVALIAÇÃO DA FRAGILIDADE GEOSISTÊMICA DE UMA MICROBACIA
SOBRE GEOLOGIA CÁRSTICA: POTENCIAL E LIMITAÇÕES**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Ciências do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Celina Wisniewski

Co-orientador: Prof. Dr. Naldi Emerson Canali

CURITIBA

2003



UFPR

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisol@agrarias.ufpr.br

P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **NICOLAS FLORIANI**, com o título: "**Avaliação da fragilidade geossistêmica de uma microbacia sobre geologia cárstica: potencial e limitações**", para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, com o conceito "**A**", completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 15 de maio de 2003.

Prof.^a Dr.^a Celina Wisniewski, Presidente.

Prof. Dr. Cleverson Vitorio Andreoli, I^o Examinador.

Prof. Dr. Naldy Emerson Canali, II^o Examinador.



Aos meus pais Dimas Floriani e Gladys de Souza Sanchez,
À minha esposa Andréa Mayer Veiga
COM MUITO AMOR E CARINHO,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Povo Brasileiro, à Universidade Federal do Paraná, e ao Departamento de Solos pelo investimento na educação, formação e aprimoramento profissional.

À professora Orientadora Celina Wisniewski pela acessibilidade, disponibilidade, confiança e, acima de tudo, amizade.

Ao Professor Co-orientador Naldi E. Canali pela compreensão, tranquilidade e pelas críticas que propiciaram um maior aprofundamento nas questões polêmicas da pesquisa.

Ao Professor Dimas Floriani pela importante colaboração no amadurecimento das idéias a respeito da interdisciplinaridade e pela construção de um pensamento ambiental mais abrangente.

Ao Professor Angelo E. Sirtoli pela colaboração e contribuição no desvendamento das ferramentas de sistemas de informações geográficas.

Aos funcionários da Biblioteca do Setor de ciências Agrárias, em especial à Dona Rosa.

Aos colegas de pós-graduação pelos momentos agradáveis de convivência.

Ao colega Engenheiro Agrônomo Guilherme Gandara Martins pela colaboração e pelo tempo dedicado à troca de informações úteis ao desenvolvimento do trabalho.

Ao colega agrônomo Oromar J. Bertol pela acessibilidade dedicada.

Aos meus pais Dimas Floriani e Gladys de Souza Sanchez que me fizeram acreditar que esta jornada valeria a pena, despertando o espírito crítico e incansável fazendo-me ver que arte e a ciência podem e devem andar juntas a fim de transformar o mundo em um lugar menos injusto.

À minha esposa Andréa Mayer Veiga pela paciência e incentivo, pelas horas de sono interrompidas quando da chegada dos meus pés frios em baixo dos cobertores, pela compreensão, pelas preciosas dicas e, principalmente, pelo amor e carinho dedicados.

Vi terras da minha terra.
Por outras terras andei.
Mas o que ficou marcado
No meu olhar fatigado,
Foram terras que inventei.

Manuel Bandeira

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	vii
LISTA DE TABELA.....	viii
LISTA DE QUADROS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 ABORDAGENS DA FRAGILIDADE AMBIENTAL SEGUNDO DIFERENTES ESCALAS E DIMENSÕES.....	5
2.2 AS BASES TEÓRICAS PARA O MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL.....	10
2.2.1 O entendimento dos processos naturais a partir da ecodinâmica.....	16
2.2.2 Alguns estudos aplicados aos geossistemas.....	20
2.2.3 Ferramentas alternativas aplicadas à análise dos sistemas ambientais complexos.....	25
2.3 SOLO: COMPONENTE DE ESTABILIDADE DA PAISAGEM E SER CONSERVADO.....	28
2.3.1 Agroecossistemas: por uma agricultura ambientalmente sustentável.....	33
2.4 CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DE FERVIDA E RIBEIRÃO DAS ONÇAS.....	37
2.4.1 Estudos relativos à fragilidade e vulnerabilidade da região compreendida pelo aquífero cárstico.....	41
2.5 JUNTANDO AS PEÇAS: RESUMO DO REFERENCIAL TEÓRICO.....	45
3 MATERIAL.....	47
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA.....	47
3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA.....	49
3.3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA.....	49
3.4 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA.....	53
3.5 CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA.....	56
3.6 CARACTERIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO.....	64
3.7 CARACTERIZAÇÃO HIDROGRÁFICA E HIDROGEOLÓGICA.....	64
3.8 USO ATUAL DAS TERRAS E COBERTURA VEGETAL.....	67
4. METODOLOGIA.....	73
4.1 DETERMINAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL.....	73

4.1.1 Geração da Carta de Fragilidade Potencial.....	75
4.1.2 Ponderação Intra-elementos segundo os modelos Ross (1994).....	77
4.1.2.1 Geração da Carta Geológica e Valoração das Classes.....	77
4.1.2.2 Geração da Carta de Geomorfologia e Valoração das Classes.....	78
4.1.2.3 Geração da Carta de Solos e Valoração das Classes.....	79
4.1.2.4 Geração da Carta de Declividade e Valoração das Classes.....	79
4.1.2.5 Geração da Carta de Uso do Solo e Valoração das Classes.....	81
4.1.3 PONDERAÇÃO INTRA-ELEMENTOS SEGUNDO O MODELO ALTERNATIVO PROPOSTO.....	83
4.1.3.1 O Método Booleano de Cruzamento de Informações.....	84
4.1.3.2 A Técnica de Classificação Contínua de Dados: Método <i>Fuzzy</i> Ponderado (AHP).....	85
4.1.4 Geração da Carta de Fragilidade Emergente.....	87
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	90
5.1 AS CARTAS DE FRAGILIDADE POTENCIAL DO AMBIENTE NATURAL.....	90
5.1.1 Cartas geradas segundo a lógica booleana.....	90
5.1.1.1. Carta da Fragilidade Potencial 1 (CFP1) do meio natural segundo o modelo de Ross (1994).....	90
5.1.1.2. Carta da Fragilidade Potencial 2 (CFP2) do meio natural ou segundo modelo alternativo.....	92
5.1.2 Cartas Geradas Segundo a Lógica Fuzzy (AHP).....	94
5.1.2.1 Carta de Fragilidade Potencial 3 (CFP3) do meio natural segundo modelo alternativo.....	94
5.1.2.2 Carta de Fragilidade Potencial 4 (CFP4) do meio natural segundo modelo alternativo.....	97
5.2. INTERAÇÃO ENTRE A FRAGILIDADE POTENCIAL DOS AMBIENTES NATURAIS E O USO DAS TERRAS.....	104
5.2.1 Cartas de Fragilidade Emergente do Ambiente Antropizado.....	104
5.2.1.1 Carta de Fragilidade Emergente 1 (CFE1) segundo modelo Ross (1994).....	107
4.2.1.2 Carta de fragilidade emergente 2 (CFE2).....	109
4.2.1.3 Carta de fragilidade emergente 3 (CFE3).....	113
4.2.1.4. Carta de fragilidade emergente 4 (CFE4).....	116
6 CONCLUSÃO.....	124
7 RECOMENDAÇÕES FINAIS.....	126
REFERÊNCIAS.....	129
ANEXOS.....	137

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - ESBOÇO DO FUNCIONAMENTO DO GEOSSISTEMA DE ACORDO COM BERTRAND (1971).....	13
FIGURA 2 - O COMPORTAMENTO DO BALANÇO MORFOGENÉTICO EM UM PERFIL DE VERTENTE, CONFORME AS PROPOSIÇÕES DE ALFRED JANH (1954).....	17
FIGURA 3 - DIFERENÇAS VISUAIS ENTRE DUAS IMAGENS GERADAS PELOS MÉTODOS DE CRUZAMENTO BOOLEANO E FUZZY.....	27
FIGURA 4 - MAPA DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA.....	48
GRÁFICO 1 - PORCENTAGEM DAS CLASSES GEOLÓGICAS DA BHC/FR.....	50
FIGURA 5 - MAPA GEOLÓGICO da BFC/FR.....	52
FIGURA 6 - IMAGEM SOMBREADA MOSTRANDO A MORFOLOGIA DO RELEVO DA BHC/FR.....	54
GRÁFICO 2 – PORCENTAGEM DOS TIPOS DE RELEVO DA BHC/FR.....	55
FIGURA 7 - MAPA GEOMORFOLÓGICO DA BHC/FR.....	55
GRAFICO 3 – PORCENTAGEM DAS CLASSES DE SOLOS DA BHC/FR.....	59
FIGURA 8 - MAPA PEDOLÓGICO DA BHC/FR.....	61
FIGURA 9 - MAPA HIDROLÓGICO E DOS TOPOS DA BHC/FR.....	65
FIGURA 10 - MODELO ESQUEMÁTICO DOS COMPARTIMENTOS ESTRUTURAIS DO CARSTE LIMITADO PELOS QUARTZITOS/FILITOS NA DIREÇÃO NE-NW E DIQUES DE DIABÁSIO NA DIREÇÃO NW-SE (LISBOA E BONACIM, 1995).....	66
FIGURA 11 - MAPA DO USO ATUAL DAS TERRAS DA BHC/FR.....	71
GRÁFICO 4 – PORCENTAGEM DAS CLASSES DE COBERTURA VEGETAL E USO DAS TERRAS DA BHC/FR.....	72
FIGURA 12 - ESBOÇO ESQUEMÁTICO MOSTRANDO A DINÂMICA DA PONDERAÇÃO INTRA E INTER ELEMENTOS GEOSSISTÊMICOS.....	76
FIGURA 13 - FLUXOGRAMA DAS ATIVIDADES E PRODUTOS SOBRE A FRAGILIDADE AMBIENTAL.....	78
FIGURA 14 - MAPA DE DECLIVIDADE DE BHC/FR.....	82
GRÁFICO 5 - PORCENTAGEM DAS CLASSES DE DECLIVIDADE.....	83
FIGURA 15 - CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 1.....	94
FIGURA 16 - CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 2.....	96
FIGURA 17 - CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 3.....	98
FIGURA 18 - CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 4.....	102
GRÁFICO 7- CONFRONTO DOS SOLOS COM AS TIPOLOGIAS DE USO DAS TERRAS DA BHC/FR.....	106
GRÁFICO 8. CONFRONTO DAS DECLIVIDADES COM AS TIPOLOGIAS DE USO DAS TERRAS DA BHC-FR.....	107
GRÁFICO 9. CONFRONTO DOS SOLOS COM AS TIPOLOGIAS DE USO DAS TERRAS DA BHC-FR.....	108

FIGURA 19 - CARTA DE FRAGILIDADE EMERGENTE 1.....	109
FIGURA 20 - CARTA DE FRAGILIDADE EMERGENTE 2.....	112
FIGURA 21 - CARTA DE FRAGILIDADE EMERGENTE 3.....	115
FIGURA 22 - CARTA DE FRAGILIDADE EMERGENTE 4.....	118

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PERCENTUAL MÉDIO DE AGRICULTORES SEGUNDO AS FORMAS DE PREPARO DO SOLO NAS UNIDADES DE PRODUÇÃO ORGÂNICAS DA RMC.....	72
TABELA 2 - FRAGILIDADE DAS CLASSES GEOLÓGICAS.....	78
TABELA 3 - FRAGILIDADE DAS CLASSES GEOMORFOLÓGICAS.....	80
TABELA 4 - FRAGILIDADE DAS CLASSES DE SOLO.....	80
TABELA 5 - CLASSES DE FRAGILIDADE PARA AS DECLIVIDADES.....	82
TABELA 6 - GRAU DE PROTEÇÃO DOS TIPOS DE COBERTURA VEGETAL.....	83
TABELA 7 - MATRIZ BÁSICA N º1 PARA O CRUZAMENTO DOS MAPAS TEMÁTICOS, CONSIDERANDO-SE O RESULTADO COMO PERTENCENTE À CLASSE MAIS ALTA.....	86
TABELA 8 - ESCALA DE VALORES AHP PARA COMPARAÇÃO PAREADA.....	87
TABELA 9 - PESOS ADOTADOS E DISPOSIÇÃO HIERARQUICA DOS ELEMENTOS.....	87
TABELA 10 - MATRIZ BÁSICA N º2 PARA CRUZAMENTO DOS MAPAS TEMÁTICOS, CONSIDERANDO-SE O RESULTADO COMO SENDO A MÉDIA DOS ELEMENTOS ANALISADOS.....	89
TABELA 11 - CARTA DA FRAGILIDADE POTENCIAL 1 (CFP1).....	92
TABELA 12 - CARTA DA FRAGILIDADE POTENCIAL 2 (CFP2).....	93
TABELA 13 - PESOS DEFINIDOS PELA TÉCNICA AHP.....	96
TABELA 14 - CARTA DA FRAGILIDADE POTENCIAL 3 (CFP3).....	96
TABELA 15 - PESOS DEFINIDOS PELA TÉCNICA AHP.....	98
TABELA 16 - CARTA IV DA FRAGILIDADE POTENCIAL DO MEIO NATURAL.....	99
TABELA 17 - SÍNTESE DA EVOLUÇÃO DAS CLASSES DE FRAGILIDADE POTENCIAL.....	101
TABELA 18 - CLASSES DA CARTA DA FRAGILIDADE EMERGENTE 1 (CFE1).....	108
TABELA 19 - ÁREAS (HECTARE) RESULTANTES DO CRUZAMENTO ENTRE AS CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 1 (CFP1) E A CARTA DE USO ATUAL DAS TERRAS (CUT).....	110
TABELA 20 - CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE EMERGENTE 2 (CFE2).....	111
TABELA 21 - ÁREAS (HECTARE) RESULTANTES DO CRUZAMENTO ENTRE AS CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 2 (CFP2) E A CARTA DE USO ATUAL DAS TERRAS (CUT).....	113

TABELA 22 -	CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE EMERGENTE 3 (CFE3).....	114
TABELA 23 -	ÁREAS (HECTARE) RESULTANTES DO CRUZAMENTO ENTRE AS CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 3 (CFP3) E CARTA DE USO ATUAL DAS TERRAS (CUT).....	116
TABELA 24 -	CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE EMERGENTE 4.....	117
TABELA 25 -	ÁREAS (HECTARE) RESULTANTES DO CRUZAMENTO ENTRE AS CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 4 E DA CARTA DE USO ATUAL DAS TERRAS.....	118
TABELA 26 -	SÍNTESE DA EVOLUÇÃO DAS CLASSES DE FRAGILIDADE EMERGENTE.....	119
TABELA 27 -	PORCENTAGEM DAS ÁREAS RESULTANTES DO CRUZAMENTO DAS TIPOLOGIAS DE USO ATUAL DAS TERRAS COM AS CLASSES DAS CARTAS DE FRAGILIDADE POTENCIAL.....	120
TABELA 28 -	CENÁRIO EVOLUTIVO DAS ÁREAS DA TIPOLOGIA DE USO ATUAL DAS TERRAS SEGUNDO AS CARTAS DE FRAGILIDADE POTENCIAL.....	121
TABELA 29 -	DIFERENÇAS ENTRE O USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS DE 1996/2001.....	123

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1-	RELAÇÕES GEOMORFOLOGIA/PEDOLOGIA E CONSERVAÇÃO EM CADA MEIO GEODINÂMICO.....	15
QUADRO 2-	DIFERENÇAS ESTRUTURAIS E FUNCIONAIS ENTRE ECOSISTEMAS NATURAIS E AGROECOSSISTEMAS.....	36
QUADRO 3-	PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE AGRICULTURA SUSTENTÁVEL E CONVENCIONAL.....	37
QUADRO 4-	RESUMO DA PONDERAÇÃO E DISPOSIÇÃO HIERARQUICA DOS ELEMENTOS SEGUNDO ROSS (1994).....	82
QUADRO 5 -	PESOS ADOTADOS E DISPOSIÇÃO HIERARQUICA DOS ELEMENTOS SEGUNDO MODELO ALTERNATIVO PROPOSTO.....	84
QUADRO 6 -	ETAPAS METODOLÓGICAS DAS CARTAS DE FRAGILIDADE POTENCIAL (LÓGICA, DIFERENÇA E IGUALDADE INTRA E INTER ELEMENTOS DO GEOSSISTEMA).....	89

RESUMO

A fragilidade de um geossistema é mais bem avaliada quando leva em conta a inter-relação entre os componentes biológicos e o potencial ecológico. A exploração dos recursos naturais pela atividade humana provoca uma vulnerabilidade no meio ambiente, deixando impressos seus resultados na paisagem. O estudo da paisagem deve privilegiar metodologias que apreendam a complexidade inerente aos sistemas ambientais, envolvendo a pluralidade das dimensões sociais, ecológicas e econômicas. A Análise por Múltiplos Critérios (AMC) apresenta-se como uma ferramenta alternativa às metodologias tradicionais de modelagem que são dicotômicas na análise e ambíguas nas decisões. Assim, incorporando a AMC a partir da lógica *fuzzy* à modelagem dos dados ambientais, procedeu-se a um ajuste na metodologia de mapeamento da fragilidade ambiental (ROSS, 1994) da Bacia Hidrográfica Cárstica de Fervida e Ribeirão das Onças do município do Colombo/PR, criando critérios e indicadores adequados aos geossistemas locais. A metodologia alternativa sugerida neste trabalho consistiu resumidamente em duas etapas: na primeira, aplicação de critérios diferentes para superar a rigidez da classificação dos solos obtendo-se assim valores diferentes aos aplicados pela classificação de Ross, por conta de uma maior diferenciação das especificidades, ausente no modelo criticado. Na segunda etapa, adotou-se a ferramenta *Analytical Hierarchy Process* (lógica *fuzzy*) para determinar diferenças entre os elementos solo, declividade, geologia e geomorfologia com maior peso para o solo, critério desprezado por Ross. Os resultados da aplicação das duas metodologias (a original e a alternativa) foram os seguintes: na original obteve-se 98,38% da área agrícola distribuída em áreas de fragilidade emergente alta a muito alta, enquanto que na metodologia alternativa 94,56% da área agrícola encontrava-se distribuída em áreas de média a baixa fragilidade emergente. O resultado obtido na metodologia original poderia induzir aparentemente a um impedimento da utilização efetiva do espaço para fins produtivos. Ora, nem sempre uma intervenção humana no meio é sinônimo de degradação ambiental, desde que a tecnologia empregada seja adequada ao potencial ecossistêmico existente. Ao não contemplar pressupostos teórico-metodológicos adequados para pensar a sustentabilidade do uso das terras, as metodologias de mapeamento de fragilidade dos ambientes naturais podem produzir consequências contrárias ao pretendido. Dessa maneira, constatou-se que a metodologia alternativa proposta apresentou resultados muito diferentes aos de Ross, uma vez que baseou seus pressupostos no debate teórico da sustentabilidade.

Palavras-chave: fragilidade ambiental; modelagem geossistêmica; agroecossistemas e sustentabilidade; morfodinâmica e solos; complexidade e lógica *fuzzy*.

ABSTRACT

The fragility of a geosystem is better considered when it takes into account the relation between biological components and the ecological potential. The exploitation of natural resources results in vulnerability of the environment, producing some serious impacts in the landscape. Methodologies of landscape study must incorporate the intrinsic complexity of environmental systems including not only the ecological but also the social and the economical dimensions. The Multiple Criteria Analysis (MCA) appears as an alternative tool face the traditional pattern methodologies which are doubtful and dichotomical in its choices. So, the incorporation of the MCA methodology from fuzzy logic to the environmental data model has allowed an arrangement mapping of environmental fragility (ROSS, 1994) from Hydrographic Carstica Bassin of Fervida and Ribeirão das Onças, a county of Colombo/Pr. This alternative planning allows appropriate indicators to the local geosystems. The suggested alternative methodology of this research may be briefly resumed following two steps: the first one, by the applying different criteria to overcome the strictness classification of soils. This application reached to different values from those of Ross' classification, seeing the bigger differentiation of specificities took by the alternative model. In the second steps, the Analytical Hierarchy Process (fuzzy logic) allowed to determine differences among the soil, declivity, geology and geomorphology, with major value ascribed to the soil in opposition to Ross' model. The two methodologies (the original and the alternative one) presented the following scores: 98,38% to the original from the agricultural surface extended into high and very high emergent fragility areas, while the alternative methodology presented 94,56% of agricultural surface, situated in an average and low emergent fragility areas. The result reached from the original methodology could apparently suppose an obstruction of using this area to productive purposes. Sometimes, a human intervention in environment doesn't represent an attack against the nature, since that the employed technology be appropriate to the real ecosystemic potential. Disconsidering the theoretical and methodological principles to think the sustainable land uses, the methodologies of mapping of the environmental fragility can produce unexpected consequences. In this way, it's possible to remark that the purposes of alternative methodology presented a very different outputs than those of Ross, once the last had not based his presuppositions on the theoretical debate about sustainability.

Key-words: environmental fragility; geosystemic planning; agroecosystems and sustainability; morphodynamics and soils; complexity and fuzzy logic.

1 INTRODUÇÃO

O estudo das relações entre os seres vivos e o planeta, a partir de uma visão compartimentalizada do conhecimento científico, excluiu por muito tempo o ser humano da teia da vida do qual ele faz parte. Ficou evidenciado a partir da Revolução Industrial, em meados do século XIX, que os distúrbios e transformações do quadro natural não derivavam de um processo devido unicamente às energias naturais desencadeadas.

A história do pensamento mostrou que os sistemas naturais possuíam diferentes formas de reação às perturbações, podendo ser interpretadas como próprias de uma evolução natural e também como produto da interferência antrópica.

A partir de uma perspectiva planetária foi possível vislumbrar que a evolução das espécies e a evolução de seu ambiente estão estreitamente associadas num processo único e indivisível, cuja tendência aponta para um estado de homeostase por longos períodos, até que alguma contradição interna ou força exterior provoque o salto para uma nova situação estável.

Na medida que as sociedades humanas passaram progressivamente a intervir na apropriação dos recursos naturais, alterando os processos que conduzem à estabilização do meio ambiente, ocorreu a necessidade de se repensar a fragilidade dos sistemas naturais.

Acrescentar-se-ia ao processo de mudança dos sistemas naturais um estado social; os estudos sobre meio ambiente passariam mais tarde a incorporar uma racionalidade social, configurada por comportamentos, valores e saberes, bem como por novos potenciais produtivos que estabeleceriam limites às formas e ritmos de exploração dos recursos e que, condicionariam, também, os processos de valorização, acumulação e reprodução do capital.

Atualmente, existe a necessidade de se reexaminar essa concepção compartimentalizada do conhecimento científico à luz da idéia de co-evolução, partindo das inter-relações entre sociedade e natureza em lugar de abordar os dois sistemas separadamente.

Essa tendência foi incorporada pelas ciências da terra a partir do começo do século XX, e resultou na elaboração de novos pensamentos que culminaram na construção de uma ciência que passa a analisar a paisagem enquanto um sistema espacial dinâmico de fenômenos naturais e sócio-econômicos: o geossistema.

Assim, o estudo geossistêmico surge a partir da construção de uma nova análise da paisagem, buscando o entendimento da sua estrutura e dinâmica, ou seja, na busca da compreensão do complexo da paisagem.

A compreensão deste complexo da paisagem passa de um lado pelo entendimento da lógica de apropriação da natureza bem como das tecnologias utilizadas para tal, e por outro, pelo entendimento do jogo triangular das interações dinâmicas entre biocenose-pedogênese-morfogênese que está no centro das influências do clima sobre o relevo e cuja somatória das forças resulta na estabilidade ou na instabilidade da superfície.

Do estudo desse jogo de interações entre os fenômenos presentes na natureza surge a metodologia da Ecodinâmica. Ela tem por objetivo definir as modalidades de funcionamento do meio ambiente dos seres vivos, inclusive do Homem. E tem por finalidade contribuir na definição do grau de sensibilidade do meio ambiente em face dos fenômenos espontâneos e das intervenções antrópicas.

Assim, com base no estudo geossistêmico e da ecodinâmica é possível analisar os graus de fragilidade natural do relevo, mapeando-os, bem como analisar a fragilidade da superfície face às intervenções antrópicas.

Não obstante, as metodologias baseadas nas ciências tradicionais mostram-se incapazes de analisar os sistemas ambientais complexos caracterizados pela subjetividade e imprecisão. Na modelagem dos sistemas ambientais e no manejo de conflitos advindos da escolha de múltiplos critérios para a resolução dos problemas sócio-ecológicos deve-se dar preferência a ferramentas que abarquem as incertezas e a pluralidade de perspectivas.

Os métodos de Avaliação por Múltiplos Critérios são em princípio uma ferramenta apropriada de modelagem para a formação de decisões em assuntos ambientais, pois se encarregam de tratar de informações qualitativas e quantitativas sem

incorporar o quadro da incerteza estocástica que enfoca a ambigüidade da informação.

As ferramentas capazes de incorporar múltiplos critérios para a formação de assuntos ambientais devem ser utilizadas na análise da fragilidade ambiental na medida que os elementos do geossistema variam ou mudam de valor de acordo com o momento histórico ou com o lugar em que se encontram.

Assim, face aos objetivos do trabalho deu-se maior importância ao fator solo na análise da fragilidade ambiental, dada sua importância como fator de estabilização dos processos morfodinâmicos na paisagem, como fator de produtividade dos agroecossistemas, e como fator de contaminação ou depuração das águas superficiais e subterrâneas, características estas do ambiente cárstico no qual se aplicou o estudo.

A área da bacia hidrográfica de Fervida e Ribeirão das Onças situa-se em uma região caracterizada como área de mananciais pela presença de aquíferos subterrâneos (Região Aquífera do Carste).

Localizada no Município de Colombo, parte integrante da Região Metropolitana de Curitiba essa bacia hidrográfica apresenta atualmente um quadro de crise que confere riscos para a sustentabilidade do ecossistema: a exploração dos recursos hídricos por meio do bombeamento de poços artesianos para atender às demandas dos grandes centros urbanos; o uso da água de superfície para a irrigação de produtos hortigranjeiros; a produção de hortaliças de forma convencional sobre áreas de interesse de proteção ambiental; os sistemas agrícolas predominantemente intensivos; e os jogos de interesses entre estilos de vida opostos (urbano x rural).

Por outro lado, a região vem presenciando a estruturação de formas alternativas de produção (principalmente a agricultura orgânica) que se caracterizam pela prática de novas formas de exploração dos recursos segundo princípios biológicos procurando reduzir ou substituir insumos químicos, proteger o meio ambiente e a saúde e reforçar as interações biológicas e físicas nos agroecossistemas.

Frente àquelas situações de conflito, peculiares às sociedades de risco, justifica-se a necessidade de se pensar formas alternativas ao desenvolvimento rural, ou seja, torna-se crucial pensar uma forma de desenvolvimento que satisfaça as necessidades de reprodução social e econômica de cada comunidade e estabelecimento rural, bem como a manutenção em longo prazo dos recursos naturais e da produtividade agrícola com um mínimo de impactos adversos ao ambiente.

Neste caso, justifica-se o planejamento do uso sustentável das terras, por meio da aplicação de metodologias que identifiquem e mapeiem a fragilidade e a vulnerabilidade geossistêmica a fim de propiciar formas de planejamento do uso correto dos solos, o manejo e o gerenciamento da paisagem com seus recursos naturais.

1.1. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo geral mapear a fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica Cárstica de Fervida e de Ribeirão das Onças, fornecendo desta forma subsídios para o planejamento do uso sustentável das terras, que é a finalidade do trabalho. Este objetivo geral resume-se nos seguintes objetivos específicos:

- a. Discutir a noção de fragilidade ambiental englobando os conceitos de estabilidade, meio ambiente, paisagem e geossistema;
- b. Aplicar a metodologia de mapeamento da fragilidade ambiental desenvolvida por ROSS (1994);
- c. Construir modelos alternativos à referida metodologia por meio da utilização da ferramenta de suporte à decisão AHP (*Analitycal Hyerarqui Process*);
- d. Identificar e classificar características de fragilidade morfodinâmica do terreno (pedológicas, geomorfológicas e geológicas);
- e. Avaliar a interação entre o uso e ocupação da terra frente às características do quadro natural.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ABORDAGENS DA FRAGILIDADE AMBIENTAL SEGUNDO DIFERENTES ESCALAS E DIMENSÕES.

Aplica-se o conceito de fragilidade geossistêmica (SOTCHAVA, 1968; BERTRAND, 1971) à inter-relação existente entre o potencial ecológico (geomorfologia + clima + hidrologia) e os componentes biológicos (vegetação + solo + fauna). Por sua vez, o conceito de vulnerabilidade está associado à ação antrópica exercida sobre o quadro natural do geossistema.

Embora sem consenso ainda pelos estudiosos do assunto relativo à fragilidade eco e geossistêmica, o conceito de *fragilidade ambiental* é útil para traduzir as intenções de pesquisa que aproximam essas dinâmicas com a dimensão antrópica.

Mais recentemente alguns autores REDCLIFT e WOODGATE (1998), apoiando-se em Richard Norgaard, desenvolvem o conceito de co-evolução, mais abrangente para analisar situações de interdependência dos sistemas naturais e sociais: "(...) a coevolução entre a sociedade e a natureza deu lugar não apenas a relações socioambientais crescentemente complexas, mas também a uma mais sofisticada organização social. A crescente complexidade das estruturas sociais amplia a cadeia de conexões entre a sociedade e a natureza, de tal modo que a sustentabilidade de sociedades altamente desenvolvidas torna-se dependente não só da manutenção dos laços entre a sociedade e o meio natural, mas também dos laços que unem os atores sociais às instituições".

A análise da fragilidade dos sistemas naturais é grandemente influenciada pelas teorias ecológicas a respeito da resiliência¹ dos ecossistemas. Por muito

¹ Resiliência é um termo extraído da mecânica e descreve a característica de alguns materiais, em especial os metais, de chegar a deformações permanentes sem se romper quando são aplicados esforços maiores, permitindo-lhes voltar ao seu tamanho e forma iniciais. Esse termo quando utilizado pelos ecólogos ganha um outro sentido: a quantidade de perturbações que um ecossistema é capaz de agüentar, adaptando-se às novas condições sem chegar a falhar no seu funcionamento (MAYA, 1993). De acordo a ODUM (1986), existem duas formas de estabilidade nos ecossistemas: a estabilidade de resistência e a estabilidade de elasticidade. A estabilidade de resistência indica a capacidade um ecossistema de resistir a perturbações e de manter intactos sua estrutura e seu funcionamento. A estabilidade de elasticidade indica a capacidade de se recuperar quando o sistema é desequilibrado. O grau de estabilidade realmente alcançado por um determinado ecossistema

tempo prevaleceu na ecologia a teoria monoclímática, ou seja, a noção unidirecional da resiliência que estabelece que os sistemas perturbados retornariam a sua conformação anterior à perturbação, ou seja, ao seu estado natural de equilíbrio estático. Essa concepção influenciou a noção de sustentabilidade, tendo-se em vista que esta busca a persistência (permanência) de um presumido estado de equilíbrio, mantido através de sua proteção contra as perturbações (distúrbios) - particularmente daquelas introduzidas pelas atividades humanas (UFPR. Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento, 2001).

Segundo a concepção da teoria monoclímática, torna-se imperioso salvar o que ainda resta do mundo selvagem e devastado continuamente pelo homem. A partir dessa filosofia, então constrói-se uma representação sobre o mundo natural; constrói-se um 'neomito' que reporta à idéia de paraíso perdido, da beleza primitiva da natureza anterior à intervenção humana, e da exuberância da paisagem intocada. É esta idéia que inspirou, e ainda inspira, uma parte do discurso ambientalista e os principais instrumentos da legislação ambiental vigente que tendem a privilegiar a natureza pensada como intocada, da ação predadora das populações (DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE, 2000).

No entanto, essa concepção de natureza sofreu mudanças. Ficou evidenciado mais tarde através das descobertas das ciências naturais que os ecossistemas podem reagir diferentemente às perturbações (dado à forte variabilidade entre eles), o que faz levar a diferentes pontos de equilíbrio dinâmico² e envolver mudanças contínuas, com ciclos de perturbações e rejuvenecimento.

depende não somente da sua história evolutiva e da natureza do ambiente de entrada, mas também da complexidade. Em termos gerais, os ecossistemas tendem a se tornar mais complexos em ambientes físicos benignos do que quando sujeitos a perturbações estocásticas (aleatórias, imprevisíveis) de entrada.

² Neste caso, o termo equilíbrio não tem o mesmo significado que na estática, pois aqui se refere ao balanceamento dos diferentes elementos do sistema que mutuamente se mantêm dentro de determinados limites que impedem com que o sistema se destrua. Não é, pois, sinônimo de morte, senão de complementaridade e de balanço (MAYA, 1993). O conceito de equilíbrio dinâmico ou do *steady state* nos sistemas fechados e abertos é discutido por CHORLEY (1971), com base nas idéias de Von Bertalanffy, em seu artigo 'A Geomorfologia e a Teoria dos Sistemas Gerais'. Para Chorley um *steady state* é o estado de estabilidade no qual a importação e exportação de energia e matéria são equacionadas por meio de ajustamento das formas, ou geometria do próprio sistema: *"um steady state significa que os aspectos das formas não são estáticos e imutáveis, mas que são mantidos pelo fluxo de matéria e de energia que atravessam o sistema. (...) Na prática, o steady state raramente é caracterizado por um exato equilíbrio, mas simplesmente pela tendência em atingi-lo. Esse fato é*

A noção de fragilidade dos sistemas ambientais é também questionada por LOVELOCK (1991) quando elaborada a teoria de Gaia ou a Terra enquanto um organismo vivo.

Ao expor sua teoria o autor faz uma crítica às ciências biológicas e da terra dizendo que “os modelos ecológicos e a ecologia teórica enquanto ciência até agora não conseguiram explicar a grande estabilidade dos ecossistemas naturais complexos, como as florestas tropicais ou o emaranhado talude de Darwin (...)”.

Segundo Lovelock, em Gaia a evolução das espécies e a evolução de seu ambiente estão estreitamente associadas num processo único e indivisível de tal maneira que o clima e a composição química da Terra são mantidos em homeostase por longos períodos, até que alguma contradição interna ou força exterior provoque o salto para uma nova situação estável. Para que o planeta consiga atingir a regulação do ambiente é necessária a presença de um número suficiente de organismos vivos. Logo, a teoria de Gaia obriga a que tenhamos uma visão planetária, pois nesta escala a “vida é quase imortal e não tem a necessidade de se reproduzir”.

Gaia tem presenciado hoje um período de intensa interferência humana (atividades industriais, da agricultura, da pesca em grande escala) que se observado da “escala de tempo de nossas vidas breves deve parecer acidental ou até maligna”, e se observado a partir das dimensões espaciais e temporais de Gaia, não represente necessariamente uma ameaça à extinção da vida na Terra.

Contudo, o que ocorreu foi que durante essas abruptas mudanças as espécies residentes sofreram catástrofes, evoluindo ou deixando lugar ao surgimento de outras. A espécie humana é produto de uma dessas catástrofes e “se o mundo se torna inadequado para nós, pelo que nós mesmos fazemos, existe a probabilidade de mudança no regime, que passará a ser o melhor para a vida – embora não necessariamente o melhor para nós” (LOVELOCK, 1991).

Portanto, embora o planeta esteja presenciando um período de intensas mudanças provocadas pelas atividades humanas, elas devem ser encaradas como

devido parcialmente às constantes alterações da energia que são, por si mesmas, características do funcionamento em sistema aberto”.

um perigo real mais aos seres humanos e aos ecossistemas locais que propriamente ao planeta que possui mecanismos próprios de controle frente às adversidades.

A questão da fragilidade ambiental ganha outro sentido quando analisada a partir de uma escala menos abrangente, a escala da paisagem ou de uma microbacia hidrográfica onde há uma forte intervenção social modificando as dinâmicas processuais do quadro natural, ou seja, a natureza socialmente construída.

Antes de abordar esta questão, vale a pena destacar a visão de SANTOS (1997) quanto aos distúrbios e transformações do quadro natural. Para ele a identidade do quadro natural se renova mediante as trocas de energia (num movimento perpétuo) entre os seus elementos. Esse processo, pelo qual constituem-se as entidades ou elementos naturais, é intitulado como a diversificação da natureza: “quando a natureza ainda era inteiramente natural, teríamos, a rigor, uma diversificação da natureza em estado puro. O movimento das partes, causa e consequência de suas metamorfoses, deriva de um processo devido unicamente às energias naturais desencadeadas.”

Contudo, a partir da intervenção das sociedades humanas para a apropriação dos recursos, os ambientes naturais - que se mostravam em estado de equilíbrio dinâmico - passam a apresentar maior ou menor fragilidade em função de suas características genéticas (ROSS, 1996a).

Assim, com a primeira presença do homem acrescenta-se um fator novo na diversificação da natureza na medida em que a sociedade atribui às coisas um valor, acrescentando ao processo de mudança um estado social. Historicamente, com o aperfeiçoamento das técnicas vai-se aumentando o poder de intervenção e a autonomia relativa do homem ao mesmo tempo em que se vai ampliando a parte da diversificação da natureza socialmente construída (SANTOS, 1997).

A partir dessa lógica de valoração dos recursos e ecossistemas por parte da sociedade, LEFF (2001) amplia o conceito de meio ambiente, vinculando-o à racionalidade social:

(...) o ambiente não é o meio que circunda as espécies e as populações biológicas; é uma categoria sociológica (e não biológica), relativa a uma

racionalidade social, configurada por comportamentos, valores e saberes, bem como por novos potenciais produtivos. Neste sentido, o ambiente do sistema econômico está construído pelas condições ecológicas de produtividade e *regeneração dos recursos naturais*, bem como pelas leis da termodinâmica de degradação de matéria e energia no processo produtivo. O ambiente estabelece potenciais e limites às formas e ritmos de exploração dos recursos, condicionando os processos de valorização, acumulação e reprodução do capital.

Nesse sentido, o estudo do meio ambiente³ pode ser definido, segundo MAYA (1993), como “a análise da relação entre o ecossistema e a cultura, reservando o termo ecossistema para o conjunto de leis que regem os sistemas vivos antes de ser transformados pela atividade humana, e o de cultura para a forma como o homem se organiza em sociedade, constrói seus instrumentos adaptativos e organiza uma rede de símbolos que o permite comunicar-se e transmitir seus conhecimentos às gerações futuras”.

Assim, nota-se a partir das idéias expostas acima que a inserção do elemento antrópico tem uma relação com a qualidade do meio físico. Atualmente, existe uma necessidade de se reexaminar essa concepção à luz da idéia de co-evolução, partindo das inter-relações entre sociedade e natureza em lugar de abordar os dois sistemas separadamente, pois, como se pode observar hoje, a quase totalidade dos meios naturais são produtos da ação dos homens que, não só enquanto elos da cadeia trófica, mas como seres sociais, participam dos processos de formatação dos meios que eles ocupam (UFPR. Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento, 2001).

Seguindo o raciocínio, devemos assumir que a sociedade, a exemplo do meio físico, também possui uma determinada fragilidade, e que pode ser interpretada segundo uma sociologia de risco.

A sociologia de risco tem como aspecto característico localizar as origens e conseqüências da degradação do meio ambiente no centro de uma teoria da

³ Neste caso, MAYA (1993) confirma que o conceito de meio ambiente e ambiente carregam diferentes conotações. Ambiente para o autor significa o conjunto de condições físicas nas quais se desenvolve um ser vivo.

sociedade moderna, em vez de considerá-la um elemento periférico ou uma reflexão teórica posterior. Ela é definida pela emergência dos perigos ecológicos, caracteristicamente novos e problemáticos em se comparando à sociedade industrial cujos riscos, ao contrário da primeira, ainda podiam ser calculados e previsíveis (GOLDBLATT, 1996).

A inserção do elemento antrópico no discurso das ciências ambientais é recente e é fruto da internalização de valores e princípios ecológicos impostos pela globalização da degradação socioambiental às disciplinas científicas (LEFF, 2001). Segundo Leff, a partir desse contexto surgem novos enfoques metodológicos capazes de apreender a multicausalidade e o potencial sinérgico de um conjunto de processos de ordem física, biológica, tecnológica e social.

Nesse sentido, o entendimento das dimensões social, econômica e ecológica vai depender em grande parte da complexidade do sistema e de cada um de seus componentes que se quer trabalhar. Trabalhar para que as dimensões se interrelacionem de forma equilibrada requer a participação e diálogo de saberes, ou seja, da interdisciplinaridade ou de diagnósticos alternativos capazes de traduzir a complexidade inerente aos ecossistemas. Uma das maneiras para garantir a possibilidade de realização desses diagnósticos deve contemplar o diálogo de saberes: “no domínio das relações sociedade-natureza, certamente, justifica-se cada vez mais novas associações, para produzir novos conhecimentos e engendrar práticas diferentes e alternativas ao modelo predatório de civilização instaurado pela economia de mercado e pelo produtivismo exacerbado” (FLORIANI, 2000).

2.2 BASES TEÓRICAS PARA O MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL.

No tocante ao surgimento desses novos enfoques metodológicos, MENDONÇA (1993) descreve as etapas evolutivas para construção de uma geografia ambiental. Para ele, o segundo momento do ambientalismo geográfico aparece, de certa forma, como uma reação ao descaso de grande parte dos geógrafos físicos em abordar as relações sociais enquanto componentes das paisagens e do espaço. A partir desse momento, começaram a surgir metodologias enfocando a natureza sob o ponto de vista da dinâmica natural das paisagens em interação com as relações sociais de

produção, ou seja, abriu-se um espaço para uma nova variável na paisagem do geógrafo físico: a ação antrópica⁴.

Com o progressivo avanço do estudo da paisagem e dos estudos geocológicos, originados e desenvolvidos a partir da sistematização da geomorfologia alemã, tem sido possível articular a natureza à sociedade. Recentemente, autores soviéticos e franceses (Bertrand, 1968, Ticart, 1977, Sochava, 1972) têm procurado desenvolver estudos integrados da paisagem, sob a ótica dos geossistemas (CASSETI, 2001).

Nesse sentido BERTRAND (1971) ao centralizar o foco das atenções para o estudo do geossistema, privilegia o entendimento da paisagem. Segundo ele, “a paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, numa determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos, que reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução”.

Assim, para entendermos o geossistema é necessário entender a paisagem que, segundo TROPMAIR (1981), é o espelho do próprio geossistema. “Ela é entendida como um sistema espacial dinâmico de fenômenos naturais e sócio-econômicos e procura entender a estrutura e a dinâmica, ou seja, compreender o complexo da paisagem, e não apenas a sua classificação teórica que constitui o objetivo fundamental da pesquisa em geografia física”.

Segundo GOMES (2002), o estudo geossistêmico é recente, sendo primeiramente proposto na antiga União Soviética na década de 1960, pelo estudioso Sotchava que o conceituou como o “potencial ecológico de determinado

⁴ De acordo a CASSETI (1991), a forma como que o homem utiliza os meio de produção (a própria terra) é determinada pelo grau de desenvolvimento científico-tecnológico de uma sociedade e, acima de tudo, pela forma como as relações de produção são evidenciadas nas diferentes fases da história da humanidade. No tocante ao estudo das transformações ambientais decorrentes da relação sociedade/natureza, o autor diz que: “(...) as leis que regulam o desenvolvimento da segunda natureza [a natureza transformada pelo homem] não são ao todo as que os físicos encontram na primeira natureza [a natureza intocada pelo homem]. A forma de apropriação da natureza é determinada pelas leis transitórias da sociedade [e] a chave da solução científica [para os problemas ambientais] está na análise dos fatores sociais, nos fatos específicos da produção determinada por esses fatores”.

espaço no qual há uma exploração biológica, podendo influir fatores sociais e econômicos na estrutura e expressão espacial”.

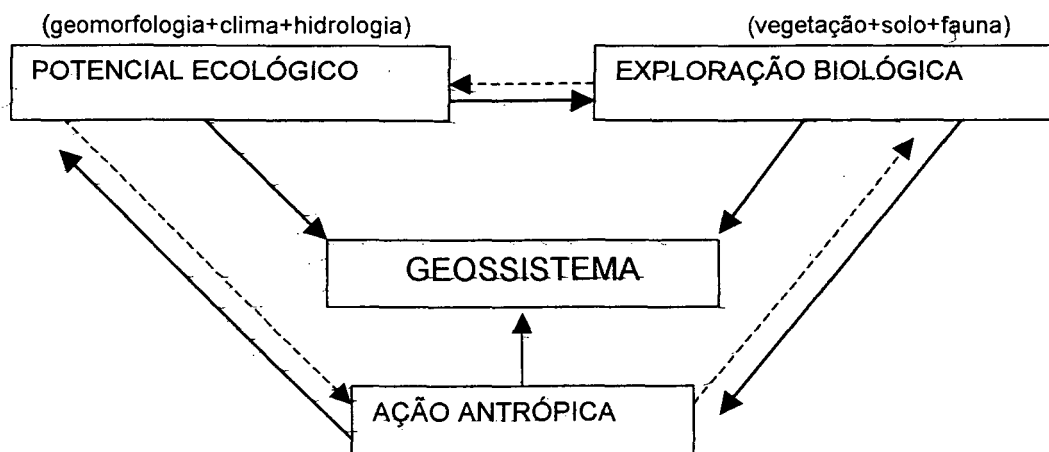
Fundamentado na Teoria Geral dos Sistemas⁵ o enfoque geossistêmico tem como princípio básico a conectividade que permite ao estudioso compreender a realidade complexa das ligações entre os elementos do sistema. Contudo, sem a aplicação deste princípio é possível incorrer no erro de analisar um dado espaço, avaliando apenas os seus elementos, sua natureza, sua estrutura sem, contudo, ultrapassar os limites da descrição. No ponto principal da discussão sobre a abordagem geossistêmica no estudo das paisagens, GOMES (2002) questiona dois aspectos fundamentais: qual a área limite de um geossistema e quais componentes devem ser incluídos nesta análise. Como resposta a essas questões o autor sugere o seguinte:

Seus elementos [do geossistema] variam ou mudam de valor de acordo com o momento histórico ou com o lugar que se encontram e devem ser considerados de acordo com seu valor em um dado momento. O relevo, vegetação, solo, clima, hidrografia, ou qualquer outro componente, mesmo os antrópicos, poderão ser considerados na análise geossistêmica desde que haja uma homogeneidade, uma relação mútua, e um valor qualitativo em sua estrutura. Não existe um valor máximo de componentes, mas existe um valor mínimo já que apenas um elemento isolado deixa de ter o caráter de inter-relação fundamental no geossistema.

Entretanto, pode-se conceber o geossistema como estruturado em subsistemas conforme o esboço na figura 1, elaborado por BERTRAND (1971), onde todos os elementos constituintes do geossistema, bem como as suas interações podem ser compreendidas.

⁵ SOTCHAVA (1977) utiliza a própria definição de Bertalanfy para conceituar geossistemas: “são uma classe peculiar de sistemas dinâmicos abertos e hierarquicamente organizados”.

FIGURA 1 - ESBOÇO DO FUNCIONAMENTO DO GEOSSISTEMA DE ACORDO COM BERTRAND (1971).



Para o autor, o geossistema possui um limite físico - de uma unidade dimensional compreendida entre alguns quilômetros quadrados e algumas centenas de quilômetros quadrados – em cuja escala se situa a maior parte dos fenômenos de interferência entre os elementos da paisagem. Devido a essa peculiaridade, o geossistema constitui uma boa base para os estudos de organização do espaço⁶ porque ele é compatível com a escala humana.

A compreensão de sua dinâmica passa necessariamente pelo entendimento dos mecanismos gerais da paisagem traduzidos por A. Chorley através da teoria do *Sistema de Erosão*⁷ que inspirou diretamente a ordem metodológica: a geomorfogênese condiciona a dinâmica de conjunto do geossistema e domina o sistema de evolução da paisagem. É importante destacar que a pedogênese tem aí um papel essencial pelo fato de bloquear atualmente a dinâmica geral da paisagem.

⁶ Esta compreensão de Bertrand é funcional, servindo para atender a dimensão da escala das relações sociais, porém como conceito (para Sotchava) ele é adimensional.

⁷ Tomando como princípio as relações dinâmicas entre morfologia e os processos erosivos, CUNHA e GUERRA (1996) exemplificam o cenário exposto acima por Chorley, acrescentando ao sistema o fator antrópico: "O desmatamento ou crescimento da área urbana nas encostas reduz a capacidade de infiltração, aumenta o escoamento superficial, promovendo a erosão hídrica nas encostas e fornece maior volume de sedimentos para a calha fluvial o que pode resultar no assoreamento do leito e enchentes na planície de inundação. Da mesma forma, alterações no comportamento natural dos canais fluviais influenciam os processos que se registram nas encostas. Obras de acentuado entalhe e aprofundamento dos leitos, no sentido de reduzir a ocorrência de enchentes, são exemplos que alteram o nível de base local, gera retomada erosiva nas encostas e a conseqüente formação de ravinas e voçorocas".

Para as necessidades da análise, Bertrand aconselha isolar três conjuntos diferentes no interior de um mesmo sistema de evolução: o sistema geomorfo-genético; a dinâmica biológica; o sistema de exploração antrópica.

A partir desta estrutura analítica, Bertrand definiu um sistema taxonômico dinâmico que permite classificar as paisagens em função de sua evolução e que engloba através disso todos os aspectos das paisagens. Ela leva em consideração três elementos vinculados aos três conjuntos acima descritos: o sistema de evolução, o estágio atingido em relação ao clímax; e o sentido geral da dinâmica (progressiva, regressiva, estabilidade)⁸.

Quanto à análise da fragilidade de um geossistema, de acordo a BERTRAND (1971), deve-se abordar no interior de um geossistema o geofácies que são setores fisionomicamente homogêneos onde se desenvolve uma mesma fase da evolução geral. Sendo menores, eles são mais sensíveis às modificações que afetam os geossistemas e evoluem mais rapidamente. Sua combinação traduz a dinâmica geral do geossistema do qual eles fazem parte.

O geossistema se define primeiramente por seu potencial ecológico, enquanto que no geofácies a exploração biológica do potencial ecológico determina geralmente a dinâmica. Pode-se falar de cadeias progressivas e de cadeias regressivas de geofácies, como também de um geofácies "clímax" que constitui um estágio final da evolução natural de um geossistema. Os geossistemas, portanto, são definidos em função do estado de biostasia ou resistasia e da dinâmica progressiva, regressiva ou climática (equilíbrio). O Quadro 1 exemplifica o sistema taxonômico proposto por Bertrand.

⁸ Esta tipologia é inspirada na teoria de bio-resistasia de H. Erhart que também é utilizada para elaborar a teoria da Ecodinâmica do geomorfólogo Jean Tricart, da qual falar-se-á mais adiante.

QUADRO 1- RELAÇÕES GEOMORFOLOGIA/PEDOLOGIA E CONSERVAÇÃO EM CADA MEIO GEODINÂMICO.

1. Geossistema em Biostasia:

- Paisagens onde a *atividade geomorfoгенética* é fraca ou nula.
- O potencial ecológico é, no caso, mais ou menos estável.
- O *sistema de evolução* é dominado pelos agentes e os processos bioquímicos.
- A *intervenção antrópica* pode provocar uma dinâmica regressiva da vegetação e dos solos, mas ela nunca compromete gravemente o equilíbrio entre o potencial ecológico e a exploração biológica.

1.1. Geossistemas 'climáticos' e 'subclimáticos':

No caso de um desmatamento ou mesmo um acidente natural, observa-se rapidamente uma reconstituição da cobertura vegetal e dos solos; o potencial ecológico não parece modificado.

1.2. Geossistemas 'paraclimáticos':

Aparecem no decorrer de uma evolução regressiva, geralmente de origem antrópica. A evolução não pode prosseguir senão artificialmente para uma outra forma de clímax (ex: reflorestamento após aração).

1.3. Geossistemas degradados com dinâmica progressiva:

Territórios rurais cultivados que passam ao abandono, com capoeiras e retorno a um estado florestal que é, na maior parte dos casos, diferente da floresta-clímax.

1.4. Geossistemas degradados com dinâmica regressiva:

Paisagens fortemente humanizadas, onde a vegetação é modificada ou destruída, os solos são transformados pelas práticas culturais e o percurso dos animais. No entanto, o equilíbrio ecológico não é rompido, malgrado um início de 'ressecamento' ecológico.

2. Geossistema em resistasia:

A geomorfogênese domina a dinâmica global das paisagens. A geomorfogênese contraria a pedogênese e a colonização vegetal.

2.1. Geossistemas com geomorfogênese "natural":

Neles a erosão faz parte do clímax, isto é, ela contribui a limitar naturalmente o desenvolvimento da vegetação e dos solos. Ex: vertente montanhosa com talude de detritos móvel.

2.2. Geossistemas regressivos com geomorfogênese ligada à ação antrópica:

2.2.a Geossistemas em resistasia bioclimática.

2.2.b Geossistemas marginais em "mosaico":

Isto é geofácies em resistasia com geofácies em biostasia, caracterizados por um certo desequilíbrio e uma certa fragilidade natural.

2.2.c Geossistemas regressivos:

possuem potencial ecológico degradado que se desenvolve no seio das paisagens em plena biostasia.

Conforme MENDONÇA (1993), o desenvolvimento do tratamento temático ambiental dentro da geografia demorou a consolidar-se no Brasil, ficando mais restrito à influência da escola francesa. Outro expoente da escola francesa foi Jean Tricart que introduziu os conceitos de Ecodinâmica e Ecogeografia, servindo de base para a metodologia da cartografia da fragilidade ambiental dos ambientes naturais e antropizados.

A Ecodinâmica é uma metodologia baseada no estudo da dinâmica dos ecossistemas. Enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria no meio ambiente. Ela tem por objetivo definir as modalidades de funcionamento do meio ambiente dos seres vivos, inclusive o Homem. E tem por finalidade contribuir na definição do grau de sensibilidade do meio ambiente em face dos fenômenos espontâneos e de nossas intervenções (TRICART, 1977).

De acordo a Tricart, geralmente o elemento determinante na análise de uma unidade ecodinâmica é a morfodinâmica, caracterizado como o componente mais importante da dinâmica da superfície terrestre. A morfodinâmica depende do clima, da topografia, do material rochoso e tem repercussões mais ou menos imperativas sobre a biocenose, produzindo estabilidade ou instabilidade da superfície, que é um fator limitante muito importante para o desenvolvimento dos seres vivos. A ecodinâmica se processa através do jogo triangular das interações biocenose-pedogênese-morfogênese que está no centro das influências do clima sobre o relevo. Os processos morfogênicos, por sua vez, produzem a instabilidade da superfície, que é um fator limitante muito importante no desenvolvimento dos seres vivos. Assim sendo, o conhecimento da dinâmica desses processos torna-se o elemento determinante para a administração e ordenamento do meio ambiente, lembrando que um dos seus objetivos é a diminuição da instabilidade morfodinâmica dos meios.

Conforme o autor supracitado, existe uma passagem gradual entre os meios estáveis e os meios instáveis que é caracterizada pela interferência da morfogênese-pedogênese sobre um mesmo espaço. Tal relação pode ser mais bem explicada através do modelo elaborado por Alfred Janh em 1954 para a análise da dinâmica

diminuição da espessura do regolito e o rebaixamento do modelado (JANH¹⁰, apud CHRISTOFOLETTI, 1974).

De acordo a TRICART (1977), os meios estáveis (em termos morfodinâmicos) encontram-se em regiões dotadas de uma série de condições como tais como:

- cobertura vegetal suficientemente fechada para opor um freio eficaz ao desencadeamento dos processos mecânicos da morfogênese;
- dissecação moderada, sem incisão violenta dos cursos d'água, sem sapeamentos vigorosos dos rios, e vertentes de lenta evolução.
- ausência de manifestações vulcânicas suscetíveis de desencadear paroxismos morfodinâmicos de aspectos mais ou menos catastróficos.

Os meios classificados por Tricart como estáveis ou instáveis possuem seu equivalente na classificação geossistêmica de Bertrand. Os meios estáveis podem ser tratados como geossistemas em biostasia, enquanto que os meios instáveis equivalem aos geossistemas em resistasia.

Inspiradas no fundamento da bio-resistasia de 1954 do pedólogo Henri Erhart, as teorias de Tricart e de Bertrand evidenciam a importância da cobertura vegetal. Onde a vegetação é capaz de fornecer detritos tem lugar a pedogênese, ou seja, a pedogênese se exerce livremente sem ser afetada praticamente pelas situações da morfogênese. Neste caso, estamos numa situação de biostasia (equilíbrio biológico). Caso ocorra uma ruptura do equilíbrio biológico tem lugar à morfogênese, o que caracteriza os meios morfodinamicamente instáveis: à medida que os processos de denudação retiram detritos da zona de partida, há franca acumulação na base da encosta e o intemperismo atua no sentido vertical atacando a rocha subjacente. Um desequilíbrio qualquer (climático, tectônico ou antrópico) pode acelerar os processos de desgaste (intemperismo mecânico) em relação à decomposição das rochas (intemperismo químico). No setor mais inclinado da encosta a erosão retira o horizonte A e, na base, a acumulação rápida de detritos enterra o horizonte A. Essa situação é chamada por Erhart de resistásica (desequilíbrio bioclimático).

¹⁰ JANH, A. Balance de dénudation du versant. *Czasopismo Geograficzne*, v. 25, 1954, p.38-64.

As influências exercidas pelos estágios de bio-resistasia não ficam somente na estabilidade de uma vertente e no impedimento à erosão mecânica dos horizontes pedológicos. De acordo a ERHART (1962) a influência da bio-resistasia é amplificada de modo a alterar o quadro natural de uma paisagem em diferentes escalas, e tem como agente principal uma floresta em clímax e um clima favorável ao seu desenvolvimento. Tal teoria parte do pressuposto que durante milênios e milhões de anos os continentes puderam presenciar uma fase caracterizada pela ausência de turbulências tectônicas ou vulcânicas e sem modificações climáticas importantes a ponto de provocar o desaparecimento da floresta. Esse período de equilíbrio permitiu aos seres organizados atingir o seu "clímax" e o seu desenvolvimento máximo. O estabelecimento de uma floresta poderia a partir deste cenário exercer papel marcante nos fenômenos da pedogênese e na gênese das rochas sedimentares, dada a ação primordial da floresta na separação e filtração dos materiais componentes das rochas e dos solos a partir de duas fases: a fase migradora (de minerais) e a fase residual.

A separação dos componentes químicos e físicos dos solos tem lugar pelo simples fato que em toda floresta densa a erosão mecânica é praticamente nula e que somente os elementos da primeira fase (a fase migradora) podem deixar o continente (por meio da erosão química), tendo a floresta atuado no papel filtro-separador dos elementos no decorrer de uma grandiosa reação geoquímica.

Assim, a partir da separação dos componentes químicos como os bicarbonatos de Ca e Mg, a ordenação vertical de certas séries estratigráficas (carapaças calcárias, magnesianas e silicosas) poderia ser explicada pela formação das paisagens fitogeográficas que se sucederam nos continentes, ou seja, as fases migradora e residual, segundo Erhart, podem responder à formação de algumas rochas sedimentares, tais como os calcários, margas e dolomitos, assim como algumas rochas com sílica hidratada. Nesse sentido, essas rochas devem ser entendidas como as testemunhas da história florestal dos continentes.

2.2.2 Alguns estudos aplicados à análise geossistêmica.

De acordo a SOTCHAVA (1977), o método cartográfico, que é muito importante para o estudo dos geossistemas, em geral desempenha um papel capital na elaboração das prognoses geográficas – que constitui o objetivo do estudo dos geossistemas - e coadunam perfeitamente com a modelagem dos sistemas. O modelo do geossistema do futuro deve ser mapeado, permitindo assim a descoberta de seus índices espaciais.

Seguindo o raciocínio, o autor nos indica um esboço metodológico para os mapeamentos de territórios para qual as previsões serão feitas: “deve ser provido uma série de mapas sobre o ambiente natural que, em seu conjunto, caracteriza o geócoro¹¹ por seus componentes e, ao mesmo tempo, como um todo. Referimo-nos a uma série de mapas conjugados (geomorfológicos, hidrológicos, climáticos, de vegetação, de populações animais, e assim por diante), ou seja, perfeitamente comparáveis uns aos outros. O conteúdo para a legenda desses mapas bem como sua interpretação gráfica não deve faltar”.

As pesquisas geradas a partir da abordagem sistêmica tomam como referencia padrões de fisionomias do terreno, ou padrões de paisagens (Unidades de Paisagens) que, individualizadas e cartografadas, são o referencial básico para o início das pesquisas. Assim, o pesquisador procura informações referentes à natureza e à sociedade, que estão representadas em cada uma das manchas ou unidades previamente identificadas ROSS (1998).

No trabalho intitulado ‘ Ecossistemas e Geossistemas’ que expõe os resultados obtidos na elaboração do mapa de eco e geossistemas do Estado de São Paulo na escala 1:250.000, TROPMAIR (1981) decidiu adotar uma classificação dos ecossistemas diferenciada daquela genérica que não se adequava a uma análise do

¹¹ Na caracterização do meio natural verifica-se a convergência de dois princípios; homogeneidade e diferenciação. No processo de desenvolvimento natural desse domínio funcionam, ao mesmo tempo os processos de homogeneidade e diferenciação. Todas as classes de geossistemas com estrutura homogênea chamam-se “geômeros”, e os de estrutura diferenciada são chamados de “geócoros”. O menor número de parcelas de combinações territoriais de áreas elementares, assegurando o mínimo de condições para o seu funcionamento e a manutenção específica do caráter (tônus) da geografia física constitui o geócoro elementar (SOTCHAVA, 1978).

ponto de vista espacial. Assim, ao invés de adotar os termos simples, complexo ou natural, e artificial optou-se pela classificação de Jalas que leva em consideração a interferência antrópica nos ecossistemas. Esta classificação estabelece quatro classes de *hemerobia* (hemero= dominado, cultivado): A, OLIGO, MESO e Euhemioróbio. À classificação de Jalas foram associados também os nomes das formações vegetais e a legenda da 'classificação funcional dos ecossistemas', proposta numa escala mundial por Ellenberg em 1973.

Foram estabelecidos, assim, 15 geossistemas e em cada um foram analisados: 1) a atuação das massas de ar, a classificação climática e os elementos; 2) temperaturas: máxima, mínima e absolutas; 3) precipitação: anual, época, seca e chuvosa, dias de precipitação, máximo de precipitação em 24 horas; 4) altitude e geomorfologia; 5) declividade do relevo; 6) tipos de solos (textura, profundidade e pH); 7) falta ou excesso de água do solo; 8) a cobertura vegetal e 9) uso e capacidade de uso do solo. Além disso, foram estabelecidas as classes de inter-relações entre os componentes dos geossistemas: intensivo, intermediário, fraco, e imperceptível, bem como o elemento mais importante que marca e rege as inter-relações da paisagem de cada geossistema.

Em função de uma tipologia dinâmica e da fragilidade dos equilíbrios morfo-pedogenéticos, segundo as proposta de Bertrand e Ehart, PASSOS (1991) definiu as unidades mais representativas da dinâmica da paisagem no Pontal do Paranapanema: áreas de florestas residuais em biostasia subclimática e paraclimática; áreas de pastagens artificiais. A metodologia consistiu do levantamento da compartimentação geomorfológica (onde foram delineadas as unidades elementares da paisagem); as condições geo-pedológicas; e a dinâmica climato-hidrológica, que correlacionados constituem o potencial ecológico do geossistema. Este potencial quando analisado conjuntamente ao tipo de exploração biológica do espaço (flora e fauna).

Para Passos, a eliminação da cobertura vegetal natural é o início de toda uma fase resistásica e nas áreas de ocupação agrícola os agentes morfogenéticos passam a se manifestar com grande agressividade, definindo uma dinâmica da paisagem com características de ruptura.

Através de uma classificação das unidades ecodinâmicas ou unidades de comportamento morfodinâmico, ROSS (1996a) consegue obter o grau de fragilidade do ambiente. As unidades ecodinâmicas são diferenciadas basicamente em dois grandes grupos: as unidades estáveis ou em equilíbrio morfodinâmico, e as unidades instáveis ou em desequilíbrio. Tais unidades são classificadas a partir das variáveis litologia, solos, cobertura vegetal/uso da terra e pluviosidade/temperatura, resultando em graus de instabilidade indo de fraco a forte. Esta metodologia permite trabalhar com situações distintas de uso da terra (uso agrícola ou urbano) e vários tipos de cobertura vegetal (natural ou recuperada espontaneamente), estabelecendo-se neste caso a instabilidade emergente quando a área está ocupada e a instabilidade potencial quando a área não está alterada pelo uso antrópico. Segundo Ross, esta metodologia, "sob o ponto de vista ambiental, fornece um diagnóstico-síntese que pode perfeitamente nortear as intervenções antrópicas futuras e corrigir as presentes. É por tanto um instrumento importante no trabalho de planejamento físico territorial".

A metodologia de mapeamento da fragilidade ambiental exige o conhecimento das potencialidades dos recursos naturais que passa pelo levantamento do relevo, do subsolo, do solo, do uso da terra e do clima que devem originar produtos cartográficos temáticos como: geomorfologia, geologia, pedologia, climatologia e uso da terra/vegetação. As informações de natureza lito-pedológicas são hierarquizadas em função do maior ou menor grau de fragilidade do manto de alteração (solo mais alterito) face suas características físicas e minerais em relação à ação antrópica e sobretudo das águas pluviais (erodibilidade laminar ou em sulcos e a movimentos de massas), ou seja, é proposta uma hierarquização de cada tema em cinco classes de fragilidade: 1- Muito baixa; 2- Baixa; 3- Média; 4- Alta ; e 5- Muito Alta. A partir do cruzamento dos temas, obter-se-á outros resultados cujos valores são também distribuídos no intervalo de 1 a 5, ou seja, de muito baixa a muito alta.

Do cruzamento dos outros primeiros temas acima descritos resulta a fragilidade potencial do meio natural e do cruzamento da fragilidade potencial com a ação antrópica (uso da terra/vegetação) resulta a fragilidade emergente ou ambiental.

Baseado na metodologia de ROSS (1994) de mapeamento da fragilidade ambiental, DOS SANTOS (1997) analisou a ocupação de "ambientes urbanos"

localizados dentro da bacia hidrográfica do rio Palmital, na região metropolitana de Curitiba. Segundo o autor, a metodologia fundamenta-se no conceito de Unidades Ecodinâmicas elaborado por TRICART (1977), que analisa o ambiente sob o prisma da “Teoria dos Sistemas”.

Neste trabalho foram determinadas duas fragilidades: a ‘fragilidade emergente’ do meio rural, e a ‘fragilidade emergente’ do meio urbano, através da integração da fragilidade potencial com os usos rural e urbano. Dois temas foram discutidos e acrescentados: hidrologia e climatologia servindo de base para obtenção da fragilidade potencial usando-se os seguintes temas: geomorfologia (clinográfico); pedologia; climatologia (isoerosividade); e hidrologia (enchente).

MOTTI e MOTTI (1998) realizaram o estudo integrado do meio natural para elaborar o mapa dos geossistemas da área de Santa Quitéria no Estado da Bahia. A metodologia conceituou-se principalmente pela idéias de Bertrand e Tricart. Foram feitos estudos pedológicos (com mapeamento na escala de 1:20.000), geomorfológicos (mapeamento também na escala de 1:20.000), assim como estudos do clima, da vegetação e da ocupação humana. O estudo da paisagem permitiu caracterizar 7(sete) geofácies que se organizam em dois geossistemas: o geossistema das serras e dos pés de serras e um geossistema em mosaico. Eles foram definidos em função do estado de Bio-resistência e da dinâmica progressiva, regressiva ou climática (equilíbrio), conforme Bertrand (1968). O resultado final foi esquematizado em um mapa cuja leitura permite classificar diretamente componentes da paisagem em função da sua dinâmica e da fragilidade dos equilíbrios morfopedogenéticos. Deste ponto de vista, o documento final tem uma utilidade prática importante para o planejamento da utilização da área e a escolha dos modos de produção do meio natural.

Um outro trabalho intitulado de zoneamento agroecológico do estado do Tocantins (MIRANDA e BOLOGNA, 1999) compartimenta o estado do Tocantins a partir dos domínios morfoclimáticos, detalhados em termos de regiões ecológicas, setores e unidades agroecológicas. utiliza para isso a junção dos princípios da teoria geral de sistemas, o modelo de divisão da paisagem física de BERTRAND (1968) e da ecodinâmica de TRICART (1977). O primeiro nível hierárquico do zoneamento agroecológico foi o dos domínios morfoclimáticos que englobam amplos modelados

geomorfológicos decorrentes de aspectos maiores da geologia, principalmente a geotectônica. O segundo nível hierárquico, as regiões ecológicas, constitui a compartimentação próprias da paisagem física de um domínio morfoclimático e registram as diferenciações existentes em cada caso, baseadas principalmente no contexto geomorfológico (natureza das rochas e dos mantos superficiais, valores de declives, dinâmica das vertentes, processos morfogenéticos dominantes, etc). O terceiro nível hierárquico, os setores agroecológicos, constituem compartimentações naturais de uma região ecológica. Elas resultam de uma relação dinâmica entre os fatores pedológicos, morfológicos e a vegetação predominante. as classes de solos, a disposição destes na paisagem, a vegetação natural e a ecodinâmica constituíram a espinha dorsal dos 90 setores agroecológicos mapeados.

Outro trabalho fundamentado no mapeamento da fragilidade ambiental foi desenvolvido. Neste trabalho, RODRIGUES (2000) apresentou uma metodologia de avaliação da fragilidade do relevo-solo utilizando informações detalhadas das características do ambiente que interferem na manutenção do equilíbrio do relevo. Como resultados foram produzidos documentos cartográficos, como os mapas de uso da terra, fragilidades potenciais associadas às inclinações das vertentes, geomorfológico e de fragilidade do relevo.

Mais recentemente, GOMES (2002), fundamentando-se na teoria geossistêmica, passa a caracterizar os sistemas e subssistemas naturais da Regional Barreiro - Belo Horizonte do estado de Minas Gerais e sugere recomendações das atividades antrópicas que melhor se adaptam às potencialidades do meio natural da área. Utiliza-se, para tanto, de materiais como mapas geológicos e de vegetação (ambos na escala de 1:25.000) e declividade e hipsométrico (a partir de uma carta topográfica na escala de 1:10.000) para cruzar as informações de modo a elaborar um mapa dos Sistemas Naturais divididos em 34 (trinta e quatro) subsistemas conforme as características (geomorfológicas, geológicas, uso e ocupação do solo, hipsométricas e clinográficas). A partir desse mapa foram recomendadas restrições ou adaptações às atividades localmente desenvolvidas.

No âmbito dos estudos relativos à dinâmica dos sistemas naturais a metodologia do mapeamento da fragilidade ambiental apresenta-se coerente na

medida que articula o potencial ecológico, o fator biológico e o antrópico em um mesmo nível analítico a fim de determinar a fragilidade do meio físico e a sua vulnerabilidade frente às atividades antrópicas. Contudo, essa metodologia encontra limitações quando da incorporação de pesos diferenciados aos componentes geossistêmicos: a primeira limitação diz respeito à lógica operacional a que está condicionada, a lógica booleana. A segunda diz respeito à generalização dos indicadores e critérios aplicáveis a qualquer situação. No caso deste trabalho, aos solos foi dado um destaque maior que outros elementos do geossistema, fato não previsto na metodologia de ROSS (1994).

2.2.3 Ferramentas alternativas aplicadas à análise dos sistemas ambientais complexos.

Para FUNTOWICZ *et al* (1999) as metodologias baseadas nas ciências tradicionais são de restrita efetividade no auxílio a construção das políticas ambientais. Os sistemas simples podem ser capturados a partir de uma análise linear causal e determinística, mas em se tratando dos sistemas espaciais-ambientais complexos, caracterizados por serem subjetivos, incompletos e imprecisos, muitas vezes tais sistemas requerem mais que essas clássicas explicações científicas.

Devido à natureza dos sistemas ambientais complexos, que envolve profundas incertezas e uma pluralidade de perspectivas legitimadas, deve-se escolher uma ferramenta que auxilie na modelagem desses sistemas e no manejo de conflitos advindos da escolha de múltiplos critérios para a resolução dos problemas sócio-ecológicos (FUNTOWICZ *et al*, 1999).

Segundo os autores acima, a lição que a complexidade dá é que os indicadores isolados não podem ser os únicos corretos. Eles devem ser usados em um diálogo que busque agregar a pluralidade de perspectivas que estão antes de qualquer coisa reguladas por seus próprios sistemas, variavelmente social, geográfico ou cognitivo, com características de escalas espaciais e temporais. Portanto, os métodos de avaliação de múltiplos critérios são em princípio uma

apropriada ferramenta de modelagem para a formação de decisões em assuntos ambientais, pois se encarregam de tratar de informações do tipo mesclado (medidas qualitativas e quantitativas) incorporando o quadro da incerteza estocástica, chamada de '*incerteza fuzzy*' que enfoca a ambigüidade da informação.

Esse tipo de incerteza tem sido estudada pelas teorias da probabilidade e da estatística, culminando no conjunto teórico *fuzzy* que é uma teoria matemática usada na modelagem de situações nas quais as tradicionais linguagens de modelagem (a exemplo da booleana¹²), que são dicotômicas em caráter e ambíguas em suas decisões, não podem ser usadas.

Como exemplo da aplicação da lógica booleana temos a metodologia de mapeamento da fragilidade ambiental desenvolvida por ROSS (1994). Ela assume no cruzamento dos planos de informação a lógica booleana a partir da equivalência entre os elementos do meio físico.

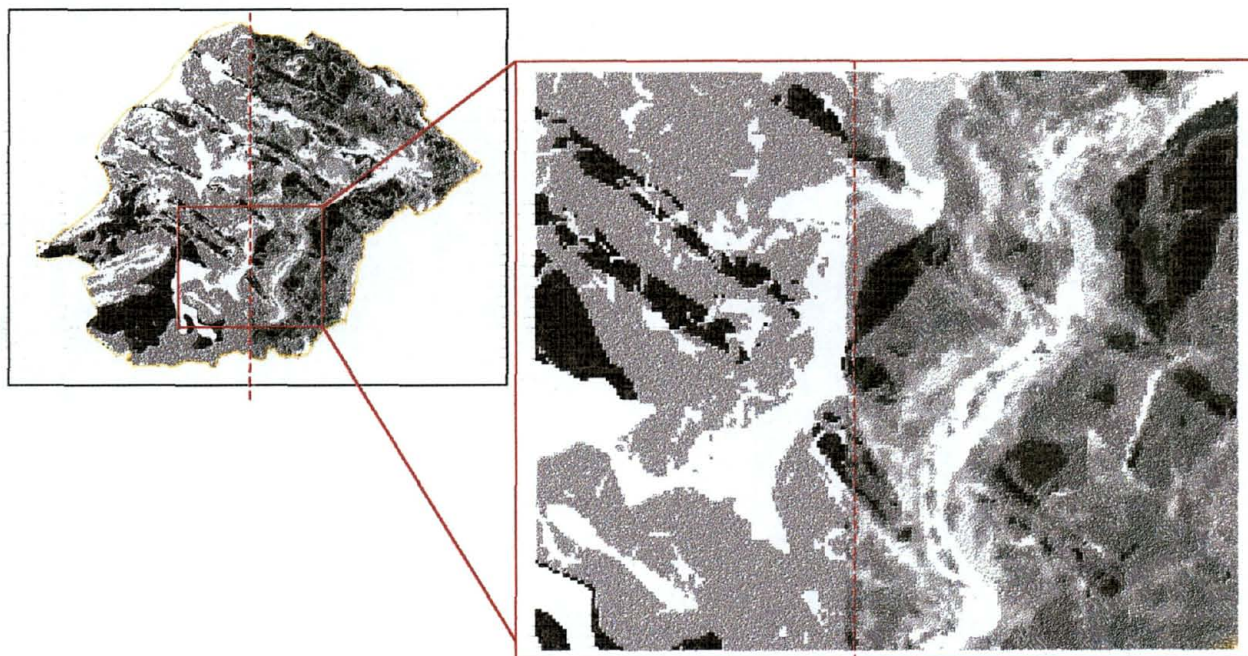
Segundo INPE (2000), uma das técnicas utilizadas como alternativa ao modelo booleano, que gera descontinuidades inexistentes no dado original (por exemplo, áreas com declividade igual a 29,99% serão classificadas diferentemente de regiões com inclinação de 30,01%, não importando as demais condições) é o processo analítico hierárquico – *Analytical Hierarchy Process* (AHP), desenvolvida pelo matemático SAATY (1992) e considerada como sendo a mais promissora no contexto do processo de tomada de decisão.

A AHP é uma teoria com base matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos. Os dados são transformados para o intervalo numérico de [0..1] e processados por combinação numérica através de média ponderada ou inferência '*fuzzy*'. Ao invés de um mapa temático com limites rígidos gerados pelas operações booleanas,

¹² O método booleano envolve combinação lógica de mapas binários através de operadores condicionais ('E', 'OU', 'Exclusivo OU' e 'NÃO'). O resultado é expresso de forma binária, valor '0' (hipótese não satisfeita) e valor '1' (hipótese satisfeita), não sendo possível a condição talvez. O procedimento tradicional de análise baseia-se no princípio de intersecção de conjuntos espaciais de mesma ordem de grandeza e está baseada em condicionantes (exemplo, a fragilidade máxima ocorre em áreas cuja declividade é maior que 30% em solos litólicos). A transposição desta metodologia analógica para o ambiente de SIG requer o uso de operações booleanas (OU, E, NÃO) para expressar as diferentes condições.

obteremos uma superfície de decisão, sob forma de uma grade numérica que tem como características a indefinição de fronteiras ou limiares entre as classes.

FIGURA 3. DIFERENÇAS VISUAIS ENTRE DUAS IMAGENS GERADAS PELOS MÉTODOS DE CRUZAMENTO BOOLEANO E FUZZY.



A figura 3 na página anterior está dividida em duas imagens. A da esquerda representa uma imagem resultante do cruzamento por meio da lógica booleana. Na imagem da direita, gerada por meio da lógica *fuzzy* AHP, é possível notar a indefinição de fronteiras ou limites rígidos aparentando um aspecto de *smog* (esfumado), enquanto que na imagem gerada pela lógica booleana os limites são bem definidos e rígidos.

Como já discutido em capítulos anteriores, a preservação e, conseqüentemente, a fragilidade do meio ambiente está condicionada à valoração dos elementos naturais por parte das sociedades que os transformam em recursos, em bens econômicos.

Assim, a partir da técnica AHP pode-se estipular uma hierarquia entre os temas, dando maior grau de importância a um ou outro de forma a distribuí-los ponderadamente conforme a lógica fuzzy.

2.3 SOLO: COMPONENTE DE ESTABILIDADE DA PAISAGEM A SER CONSERVADO.

Da experiência extraída a partir do estudo dos solos nas regiões intertropicais, quatro lições essenciais foram apreendidas por RUELLAN e DOSSO (1993) e que podem, segundo eles, serem aplicadas ao conjunto dos solos do mundo, sejam elas:

1. O solo, como todo corpo natural, está organizado e estruturado, existindo relações laterais entre as morfologias das coberturas pedológicas e seus comportamentos e fertilidades;
2. O solo é um meio de concentrações minerais: argilas, carbonatos, alumínio, ferro, etc;
3. O solo possui uma importante função na elaboração das formas do relevo;
4. O homem, ao utilizar o solo, torna-se um agente potente da transformação dos solos.

Do ponto de vista geomorfológico, o processo erosivo pode ser analisado a partir de diferentes escalas espaciais e temporais. Analisado a partir da dimensão temporal, o processo erosivo apresenta uma ciclicidade em função das oscilações climáticas características da evolução do planeta Terra. E a partir da dimensão espacial ele, o processo erosivo, atuará nos mais diversos táxons do geossistema - da amplitude regional às ravinas nas encostas.

A ciclicidade do processo erosivo é analisada por CHORLEY (1971), tomando como base a teoria geral dos sistemas e as leis da termodinâmica. O ciclo de erosão, assim chamado pelo autor, reflete as relações entre a dinâmica e a morfologia e carrega consigo o poder escultor das paisagens: "(...) Em longo prazo, o ciclo de erosão promoverá contínuos reajustamentos dos componentes em *steady state* (estado de estabilidade) como o rebaixamento do relevo e diminuição da energia disponível. As formas mostrarão, nessas condições, uma lenta evolução".

Assim, o ciclo erosivo pode ser entendido como um fenômeno normal de evolução das paisagens e concomitantemente da evolução dos solos nelas contidos.

Para BERTRAND (1971) a procura pelos mecanismos gerais da paisagem, em particular no nível dos geossistemas passa pela teoria do 'Sistema de Erosão' de A.

Chorley: a geomorfogênese condiciona a dinâmica de conjunto do geossistema e domina o “sistema de evolução” da paisagem. A pedogênese tem aí um papel essencial pelo fato de bloquear atualmente a dinâmica geral da paisagem.

CASSETI (1991, 2001) concorda com a idéia desse papel a ser desempenhado pela pedogênese ao dizer que a evolução morfológica da paisagem tende atualmente (sob clima úmido) ao processo de convexização e conseqüente revestimento florestal e o intemperismo químico resultante, bem como a colonização de microorganismos, responderão pela prévia elaboração pedogênica que em condições estáveis caracteriza o equilíbrio geoecológico.

Para GERRARD (1992), os processos geomorfológicos e pedológicos interagem na encosta especialmente quando o movimento do solo e água é considerado. Os processos geomorfológicos podem criar distintivas formas, tais como uma superfície de erosão, da qual tem-se uma grande influência na distribuição e tipos de solos.

De acordo ao autor, transições entre os vários tipos de balanço denudacional freqüentemente ocorrem com muita rapidez durante as fases de instabilidade. Alguns cientistas acreditam hoje que a mudança na paisagem acontece em um curto período e estes curtos períodos de mudança são separados por longos períodos de comparativa estabilidade. Tais idéias têm sido incorporadas por BUTLER (1959) em seu conceito intitulado K-ciclo. Cada ciclo terá uma fase de instabilidade (K_i) de erosão e deposição seguida por uma fase estável (K_e) acompanhada pelo desenvolvimento do solo.

BIGARELLA, BECKER e SANTOS (1994), citando as experiências de Bunting, descrevem alguns índices evolutivos para determinados solos. Por exemplo, a formação do horizonte B argilífero (podzólico) em condições de clima tropical, com 1,8m de desenvolvimento em depósito piroclástico, possuiria uma razão de 0,4m/1.000 ano. Em condições climáticas semelhantes, a formação de 1 metro de latossolo, a partir de rocha granítica cálcica, demoraria de 22.000 a 77.000 anos. Já, os solos ácidos de regiões úmidas requerem um tempo menor para se formarem: um solo razoavelmente bom em material arenoso, recoberto com floresta densa, levaria de 100 a 200 anos para desenvolver-se, desde que fosse garantida a presença da floresta que assegura a ciclagem dos materiais essenciais ao seu desenvolvimento.

Genericamente, a idade relativa de um solo é estimada pelo estágio do desenvolvimento¹³ e pelo número de horizontes resultantes dos processos pedogenéticos estabelecidos, decorrentes do equilíbrio das condições climáticas, geomorfológicas e biológicas. A alteração de qualquer uma dessas condições ambientais provoca o reajustamento das demais, e inicia uma nova sucessão de processos pedogenéticos, até alcançar um novo 'pedoclimax' resultante dos fluxos de matéria e energia no sistema natural (BIGARELLA; BECKER; SANTOS, 1994).

De acordo aos mesmos autores, o solo constitui na realidade uma entidade viva e sua sobrevivência (conservação) depende da resistência que a camada superficial e a cobertura vegetal oferecem à erosão.

De um modo geral, as pesquisas sobre erosão do solo consideram como sendo fatores controladores dos processos erosivos a erosividade da chuva, as propriedades dos solos (textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e pH do solo), cobertura vegetal e características das encostas (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 1999).

As perdas de solo por erosão variam em intensidade conforme o uso da terra: em uma área com mata a quantidade de solo erodido chega a 4 Kg/ha/ano; em uma área com pastagem essa quantidade cresce para 700 Kg/ha/ano; em uma área de cafezal a quantidade de solo erodido estimada é de 1.100 Kg/ha/ano; enquanto que para um algodoal a quantidade erodida chega a 38.000Kg/ha/ano (LEPSH, 1985).

Os principais atributos e características do manejo sustentável do solo e da água devem incluir, portanto, controle da erosão, a manutenção da matéria orgânica, a otimização da estrutura do solo, o reabastecimento -por meio do manejo de

¹³ DEMMATTÊ e DEMÉTRIO (1997), objetivando avaliar um solo por meio da densidade de drenagem (Dd), destacam os índices que representam o grau de evolução dos solos: os mineralógicos - Ki (Jackson, 1969); CTC (Sanchez, 1981) e morfológicos – horizontes diagnósticos (Maignien, 1966). Os resultados da pesquisa evidenciaram que a densidade de drenagem pode ser utilizada como um índice de intemperismo dos solos, que exprime a situação do relevo e paisagem dos solos e, principalmente, a relação infiltração/deflúvio e a capacidade de infiltração dos solos. A partir dos resultados concluiu-se que a Dd permitiu uma diferenciação hidrológica entre as unidades BV, TE, LR, LB e TB. Os dados mostraram que esses solos estão numa sequência de intemperismo (do menos para o mais intemperizado): BV-TE-LRd-LRa.

resíduos orgânicos e de fertilizantes químicos- dos nutrientes extraídos, e a melhoria da resiliência e da qualidade do solo¹⁴ (LAL, 1995).

A valorização da manutenção do potencial produtivo dos solos por meio de processos biológicos e vegetativos foi incorporada por alguns institutos e escolas brasileiras de agronomia no início do século XX. No entanto, devido à influência do sistema de pesquisa e educação dos EUA a partir de 1960, outro conceito de qualidade de solo foi incorporado pelas instituições dos países das regiões tropicais e subtropicais impactadas pelo forte movimento da Segunda Revolução Agrícola. Assim, a política foi equiparar o solo das regiões tropicais ao dos temperados. Tomou-se o solo “temperado” como sendo “solo padrão” e concluiu-se que o solo “tropical” é mais desfavorável nos itens onde difere do solo das regiões temperadas (PRIMAVESI, 1983; EHLERS, 1999).

Os solos tropicais e subtropicais apresentam características diferenciadas dos solos temperados principalmente no que se refere ao complexo argilo-húmico (há pouco desconsiderado como fator de produção e seu manejo não incluído no capital tecnológico agrônomo). O fato é que deste complexo (chamado por alguns pesquisadores de bioestrutura) do solo depende a resposta à adubação (o húmus apresenta acentuada influência na capacidade de troca de cátions do solo), a susceptibilidade das plantas às oscilações climáticas (a formação e estabilização de agregados no solo melhora as condições de aeração, infiltração), a frequência de pragas e pestes e finalmente a lucratividade da atividade agropecuária. No entanto, a estabilidade da bioestrutura é passageira e depende da saturação do complexo de troca com cátions bi e trivalentes, da presença de material celulósico em decomposição e da atividade microorgânica do solo. Assim, a conservação da bioestrutura deve ser incluída no manejo dos solos evitando-se as técnicas usadas

¹⁴ Várias percepções a respeito da qualidade do solo emergiram desde o conceito sugerido em 1993 no documento “*Soil and Water Quality: an agenda for agriculture*” de autoria da *US National Academy of Sciences*. Em termos simples a qualidade do solo é a capacidade funcional do solo, ou mais especificamente, a capacidade de um solo de exercer funções dentro de limites naturais ou ecossistemas manejados para sustentar a produtividade vegetal ou animal, mantendo a qualidade do ar e da água e dando suporte à saúde e habitações humanas. Essa concepção reflete a natureza viva e a dinâmica do solo. O conceito deve privilegiar a integração de três principais componentes: a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a saúde vegetal e animal (KARLEN et al, 1996).

na agricultura convencional¹⁵ que tenham por objetivo a “mobilização” excessiva do solo (IGUE, 1983; PRIMAVESI, 1983; KIEHL, 1985).

O sistema de preparo do solo – conjunto de práticas agrícolas que têm como objetivo principal preservar as características físico-químicas e biológicas do solo, oferecendo condições ideais para a semeadura, germinação e desenvolvimento das plantas – deve indicar o tipo de implemento a ser utilizado considerando-se os resíduos das culturas pós-colheita: os preparos que utilizam arados de discos e aivecas são os que mais afetam o grau de cobertura; ao passo que os que se utilizam de hastes mantêm um grau intermediário de resíduos na superfície. A prática da semeadura direta aparece no outro extremo da conservação da cobertura vegetal, não alterando a situação dos resíduos na superfície (HENKLAIN e CASÃO JUNIOR, 1994).

Assim, a partir do manejo inadequado e da diminuição dos teores de matéria orgânica nos solos instaura-se um ciclo de degradação dos recursos naturais que atinge todos os componentes do sistema agrícola, do biológico ao físico, e a sua retificação por métodos convencionais acaba por potencializar ainda mais os problemas advindos dos primeiros atos:

(...) o manejo inadequado e a diminuição dos teores de matéria orgânica levam à degradação de sua estrutura física e, conseqüentemente, facilitam os processos de erosão e desertificação (...). Os solos erodidos exigem mais fertilizantes, que nem sempre conseguem suprir adequadamente as necessidades nutricionais das plantas, tornando-as mais suscetíveis ao ataque de pragas e doenças; dessa forma, os agricultores passam a aplicar doses crescentes de agrotóxicos. Mas esses produtos eliminam também os inimigos naturais das pragas, facilitando a proliferação de insetos, ácaros, fungos e bactérias, principalmente, nos sistemas monoculturais (ELHERS, 1999).

¹⁵ De acordo à PRIMAVESI (1983), o cultivo segundo as técnicas do sistema agrícola convencional, contribui à decadência do solo pelas seguintes razões: 1. aração profunda, revolvendo o solo instável à água à superfície; 2. retorno deficiente de matéria orgânica ou sua incorporação profunda; 3. exposição da superfície do solo ao sol e impacto das chuvas; deficiência de cálcio e fósforo mas também de outros nutrientes; 4. monocultura, pela uniformização da microvida e das excreções radiculares.

Assim, do apanhado das idéias anteriormente expostas, pode-se inferir que o fator solo pode receber um maior destaque na análise da fragilidade ambiental em relação aos outros fatores constituintes do geossistema dada suas características de estabilização dos processos morfodinâmicos na paisagem, de produtividade dos agroecossistemas, e de depuração das águas superficiais e subterrâneas (características estas do ambiente cárstico no qual se aplicou o estudo). Esta justificativa norteará posteriormente o escopo metodológico deste trabalho.

2.3.1 Agroecossistemas: por uma agricultura ambientalmente sustentável.

A fim de garantir um planejamento do uso sustentável das terras como ponto de partida ao desenvolvimento rural sustentável devemos dar ênfase ao entendimento dos problemas ambientais ocorridos em um geossistema através da análise da produção e representação do espaço.

Ao analisar os fatores que conduzem à degradação das terras, deve-se também levar em consideração que muitos deles têm suas origens em problemas sociais e econômicos, os quais, por sua vez, determinam o uso e manejo agrícola a que estão submetidos. Neste caso o enfoque sistêmico é utilizado para analisar a dinâmica da exploração agrícola e os impactos advindos dessa lógica produtiva nas dimensões social, ecológica e econômica.

Um ecossistema agrícola se diferencia exatamente pela total dependência do homem para a sua existência, e também pela influência que este, através do gerenciamento, exerce sobre a comunidade biológica e sobre o ambiente físico. Aspectos antropológicos, econômicos e sociais são componentes do sistema de produção, cuja compreensão depende do diagnóstico do ambiente físico, para que se conheça a suas potencialidades, fragilidades e limitações e do diagnóstico sócio-econômico para que se compreenda a forma de interação entre o homem (produtor) e o ambiente físico. Fundamental neste processo é entender o produtor como componente do sistema, do qual dependerá a adoção de qualquer alteração sugerida, pois mesmo que tecnicamente e ecologicamente adequadas elas poderão

ser desprezadas se ele não se sentir um participante ativo do processo (WISNIEWSKI, 2003).

Nos sistemas artificiais criados pelo homem, sejam agrícolas, urbanos ou industriais, o equilíbrio já não depende mais da regulação dos nichos ecológicos, senão das condições tecnológicas pelo meio das quais o homem introduz correntes de energia e cria condições de uma nova homeostasia, ou seja, o equilíbrio já não depende mais dos nichos ecológicos, mas das condições artificiais incorporadas pelo homem. Dessa forma, a solução aos problemas ambientais advindos da substituição dos sistemas naturais por artificiais depende em grande parte do conhecimento que se adquira sobre os limites de resiliência dos ecossistemas e do estabelecimento de limites tecnológicos que permitam a continuidade dos sistemas vivos (MAYA, 1995).

GEORGE (1979) dizia a respeito da ação antrópica sobre os sistemas agrícolas que “a individualização e a organização de uma área de cultivo constituem uma forma de equilíbrio entre as tendências potenciais do meio físico e a ação organizadora e criadora de uma coletividade humana” e, apesar do meio físico pertencer ao conjunto de fatores mais estável, é através da integração ativa e produtiva dos grupos humanos que este meio adquire um valor relativo.

No entanto, resta saber qual a dimensão dessa integração produtiva dos grupos humanos com o meio ambiente, pois as formas sociais na agricultura possuem diferentes lógicas de exploração da natureza que resultam na construção de agroecossistemas diferenciados.

ALTIERI (2002) faz uma análise retrospectiva dos últimos 10 anos da agricultura na América Latina. Segundo seus cálculos, 73 milhões das 123 milhões de pessoas que vivem na zona rural encontram-se em situação de pobreza. A agricultura familiar ocupa aproximadamente 60 milhões de hectares, caracterizando-se por um tamanho médio de propriedade de 1,8 hectares e que, contudo, acaba por gerar 41% do total da produção agrícola para o consumo doméstico, ou seja, gera 51% do milho produzido, 77% do feijão e 61% das batatas. Apesar das cifras, esses camponeses continuam sendo marginalizados pelos avanços tecnológicos; em outras palavras, a maioria dos agricultores trabalha seus sistemas com tecnologias de baixo insumo,

em alguns casos por condições de pobreza, mas em muitos casos voluntariamente por tradição etnológica.

Em contrapartida, a agricultura comercial e de exportação têm incrementado o uso de produtos agroquímicos. A América Latina consome cerca de 9,3% dos pesticidas usados em todo o mundo. Só a América do Sul gasta mais de 2,7 bilhões de dólares anuais na importação de pesticidas, muitos deles proibidos no norte por razões ambientais ou de saúde humana. Poucos estudos têm medido o impacto ambiental e social desta intensificação agroquímica, mas suspeita-se que superam 10 bilhões de dólares por ano quantificando-se os custos ambientais da contaminação de águas e solos, danos à vida silvestre e o envenenamento de pessoas; não incluindo ainda os impactos ambientais associados (contaminação de águas por nitrato, eutrofização dos rios e lagos, etc) com o incremento do uso de fertilizantes nitrogenados nem os problemas de salinização ligados à irrigação em zonas não apropriadas.

Por outro lado, vemos atualmente a estruturação das novas formas alternativas de produção (principalmente a agricultura orgânica) que aparece como alternativa de sustentabilidade social econômica e ecológica, num contexto social recente, no interior da crítica feita ao modelo dominante de apropriação da natureza. A importância do desenvolvimento de uma Agricultura Orgânica indica dois processos centrais nas práticas de reprodução social: por um lado, a necessidade de desenvolver uma consciência socioambiental crítica em relação ao modelo predatório dos recursos naturais; e por outro, a necessária inclusão desse desenvolvimento na perspectiva das demandas colocadas pelo mercado (GOLDBLAT, 1996).

A partir de um quadro comparativo entre as características estruturais e funcionais dos ecossistemas naturais e agroecossistemas, ALTIERI (1989) destaca as fragilidades (instabilidades) inerentes a cada um dos ecossistemas.

A agricultura sustentável deve abranger as dimensões do econômico, sócio-cultural e ecológico de forma integrada. Ela surge em contraposição ao modelo tecnológico da Revolução Verde, baseado no emprego de sementes geneticamente manipuladas para o aumento da produtividade, motomecanização e uso maciço de agroquímicos (fertilizantes e agrotóxicos). Esse sistema, por focar um modelo

produtivista da empresa, exige grandes áreas e emprego de tecnologias que reduzam os custos da mão-de-obra e dos insumos introduzidos. Esse modelo não atinge a totalidade das regiões, dos produtos, e dos agricultores.

Por sua vez, a agricultura sustentável objetiva a manutenção em longo prazo dos recursos naturais e da produtividade agrícola; o mínimo de impactos adversos ao ambiente; um retorno adequado aos produtores; a otimização da produção com um mínimo de insumos externos; a satisfação das necessidades humanas, atuais e futuras, de alimentos e renda e o atendimento das necessidades sociais das famílias e das comunidades rurais (DAROLT, 2000).

QUADRO 2 - DIFERENÇAS ESTRUTURAIS E FUNCIONAIS ENTRE ECOSSISTEMAS NATURAIS E AGROECOSSISTEMAS.

CARACTERÍSTICAS	SISTEMAS		
	Monoculturas Anuais Modernas	Sistemas Orgânicos de Produção	Sistemas Naturais
Diversidade Genética	■	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
Eficiência Energética	■	■ ■	■ ■ ■ ■ ■
Conservação dos Recursos	■	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
Controle Humano	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■
Estabilidade (resistência)	■	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■

FONTE: Adaptado de ALTIERI (1989).

Nesse contexto entra a agricultura familiar que se mostra como uma forma social extremamente ligada a terra em todas as esferas da vida social. Os agricultores familiares possuem uma concepção que considera a terra um "espaço e lugar de trabalho, necessária para a produção e reprodução familiar e da vida (em sentido biológico, social, religioso e político). Sendo a parte central do patrimônio familiar, a terra é condição de afirmação da identidade e de realização da cidadania" (GEHLEN, 1998).

Assim, "dadas as suas características de diversidade/integração de atividades vegetais e animais, e por trabalhar em menores escalas", a produção familiar pode representar o *locus* ideal ao desenvolvimento de uma agricultura ambientalmente sustentável (CARMO, 1998).

QUADRO 3. PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE AGRICULTURA SUSTENTÁVEL E CONVENCIONAL.

Agricultura Sustentável	Agricultura Convencional
Aspectos tecnológicos	
1. Adapta-se às diferentes condições regionais, aproveitando ao máximo os recursos locais. 2. Atua considerando o agrossistema como um todo, procurando antever as possíveis consequências da adoção das técnicas. O manejo do solo visa sua movimentação mínima, conservando a fauna e a flora. 3. As práticas adotadas visam estimular a atividade biológica do solo.	1. Desconsidera as condições locais, impondo pacotes tecnológicos. 2. Atua diretamente sobre os indivíduos produtivos, visando somente o aumento da produção. 3. O manejo do solo, com intensa movimentação, desconsidera sua atividade biológica.
Aspectos ecológicos	
1. Grande diversificação. Policultura e/ou culturas em rotação. 2. Integra, sustenta e intensifica as interações biológicas. 3. Associação da produção animal à vegetal. 4. Agroecossistemas formados por indivíduos de potencial produtivo alto ou médio, e com relativa resistência às variações das condições ambientais.	1. Pouca diversificação. Predominância de monoculturas. 2. Reduz e simplifica as interações biológicas. 3. Sistemas pouco estáveis, com grande possibilidade de desequilíbrios. 4. Formado por indivíduos com alto potencial produtivo, que necessitam de condições especiais para produzir e são altamente suscetíveis às variações ambientais.
Aspectos socioeconômicos	
1. retorno econômico a médio e longo prazo, com elevado objetivo social. 2. Relação capital/homem baixa. 3. Alta eficiência energética. Grande parte da energia introduzida e produzida é reciclada. 4. Alimentos de alto valor biológicos e sem resíduos químicos.	1. Rápido retorno econômico, com objetivo social de classe. 2. Maior relação capital/homem. 3. Baixa eficiência energética. A maior parte da energia gasta no processo produtivo é introduzida e, em grande parte, dissipada. 4. Alimentos de menor valor biológico e com resíduos químicos.

Fonte: Carmo, 1998.

2.4 CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA CÁRSTICA DE FERVIDA E RIBEIRÃO DAS ONÇAS.

De acordo a MAACK (1981), a fisionomia do Primeiro Planalto Paranaense subdivide-se em três sub-regiões: o Planalto de Curitiba, a Zona Montanhosa do Açungui e o Planalto do Maracanã. A Zona Montanhosa do Açungui está localizada na porção norte do Primeiro Planalto, na Bacia do Rio Ribeira que drena toda área norte do referido Planalto. A parte norte do primeiro planalto encontra-se profundamente entalhada pelos rios da Bacia Atlântica constituído de afluentes do rio Ribeira. Em virtude da proximidade do Oceano Atlântico, todos os rios dirigidos para o leito do rio Ribeira possuem grande força de erosão. Essa força erosiva, provocada pelos tributários do Rio Ribeira, seria responsável pela esculturação da

região em uma paisagem montanhosa recente, cujas cristas ainda se encontram no nível geral da zona de eversão do primeiro planalto, formando um relevo de cabeços de estratos de rochas dobradas do Grupo Açungui.

Formado no Proterozóico Superior - 1.000 a 570 milhões de anos, o Grupo Açungui é constituído pelas formações Capiçu, Votuverava, e Sequência Antinha da Bacia Açungui e Formação Itaiacoca e Sequência Abapã da Bacia Itaiacoca. Como os conjuntos situam-se dentro de fatias tectônicas removidas de suas posições iniciais e reempilhadas de forma aleatória, a atual estratigrafia do Grupo Açungui não é original, mas o resultado da justaposição de escamas tectônicas altamente heterogêneas e descontínuas. A Bacia Açungui é do tipo retroarco e está situada entre um arco magmático posicionado originalmente a oeste ou noroeste, representado atualmente pelo Maciço Granítico Três Córregos, e uma área continental a sudeste, representada pelo embasamento cristalino. Seu fechamento se deu por uma compressão noroeste-sudeste, durante o Proterozóico Superior, que foi responsável pela tectônica de cavalgamento, com transporte de massa para sul-sudeste, e mais tarde, pelas dobras do Sistema de Dobramento Açungui e pela tectônica transcorrente lateral direita (MINEROPAR, 2002).

No tocante a fisiografia desta região, segundo CANALI (1986), ela encontra-se intimamente subordinada às estruturas geológicas e à litologia do Grupo Açungui, onde se destacam os cabeços de estratos (hogbacks), os diques de diabásio e andesito, os filitos, calcários e dolomitos:

Apesar da aparente complexidade morfológica, este setor guarda certa homogeneidade, marcada pela sucessão de longas cristas quartzíticas com orientação geral NE-SW, entalhado por profundos vales. Perpendicularmente a estas, correm direções de relevo relacionadas aos diques de diabásio e andesitos. Estas, dependendo das rochas encaixantes são menos resistentes, tais como em quartzitos e sericita-xistos. Ao contrário, quando cortam rochas heterogêneas ou de menor resistência, como em filitos, calcários e dolomitos, formam elevações com orientação NW-SW (...) O relevo desta área, de modo geral, é muito dissecado com predomínio de vertentes convexas nos topos e retilíneas nas médias e baixas encostas, com exceção das áreas de domínio do calcário, onde são côncavas na base.

A morfologia do terreno, contrariamente ao que ocorre nas regiões onde afloram as outras formações do Grupo Açungui, é suave, salientando-se apenas de quando em quando, pequenas elevações rochosas com feições cársticas. As maiores elevações do Grupo Açungui estão quase sempre condicionadas aos quartzitos. A erosão diferencial fez também com que os diques de diabásio e os filitos se sobressaíssem no relevo em relação aos dolomitos com suas grutas e dolinas originadas pela ação dissolvendo da água circulante sobre as rochas calcárias (MARINI; TREIN; FUCK, 1967).

Esta área, devido aos fatores climáticos e geológicos, é caracterizada pela geomorfologia do tipo cárstica. De acordo com CHRISTOFOLETTI (1974), “a palavra *Karst* foi inicialmente empregada para designar a morfologia regional da área de calcários maciços situada nas proximidades de Rijeka (Iugoslávia). Atualmente, é um termo de sentido amplo empregado para designar as áreas calcárias ou dolomíticas que possuem topografia característica, oriunda da dissolução de tais rochas”.

Contudo, o mesmo autor enfatiza que para que haja o pleno desenvolvimento do modelado cárstico é necessária a existência de algumas condições básicas:

- a) a existência de considerável espessura de rochas solúveis, incluindo-se nesta categoria qualquer tipo de estrutura geológica acamada em bancos delgados, fissurada e fraturada que permita a livre passagem da água em seu interior. Nesta categoria estão as rochas carbonatadas que quando submetidas ao intemperismo químico proporcionam o desenvolvimento das formas cársticas específicas;
- b) a região deve receber quantidade moderada de precipitação, propiciando a dissolução das rochas acima referidas. Nas áreas úmidas, a presença da vegetação densa auxilia a dissolução das rochas calcárias pela água pluvial enriquecida com ácido húmico proveniente da matéria orgânica em decomposição e;
- c) elevada amplitude topográfica que permita a livre circulação das águas subterrâneas e pleno desenvolvimento de formas cársticas.

Segundo SILVA e OKA-FIORI (1996), verificou-se no estudo das formas Cársticas da Formação Capiçu, Conjunto Rio Branco, onde está localizada a bacia hidrográfica cárstica do Rio Fervida e Ribeirão das Onças, uma tendência acentuada de concentração de estruturas de absorção em áreas de vales em “U”, com vertentes convexo-retilíneo-côncavas, e em planícies aluviais desenvolvidas, onde são verificadas formas compostas tais como uvalas e até mesmo poljês, decorrentes da evolução natural de intensa dissolução sobre campos de dolinas.

Em estudo e mapeamento dos padrões de relevo no médio Rio Açungui-PR, CANALI e OKA-FIORI (1997) caracterizaram o Padrão Epicalcário como uma das sete categorias existentes na área. Neste padrão de relevo predominam as classes de baixas declividades nos topos e altas nas encostas, bem como nos amplos fundos de vale, conformando vertentes convexo-retilíneo-côncavas. As declividades acima de 45% ocorrem apenas nas baixas encostas. Neste padrão pode ocorrer o desenvolvimento de amplas planícies de inundação.

Com relação à drenagem, BIGARELLA e SALAMUNI (1958b) dizem que ela está, em geral, adaptada rigorosamente às estruturas e à maior ou menor resistência das rochas deste grupo, ou seja, condicionados à direção dos diques e das rochas calcárias.

Segundo os autores acima, um dos aspectos mais importantes da região, é a numerosa presença de compartimentos através de alvéolos desenvolvidos dentre as unidades litológicas mais resistentes, como os quartzitos no sentido SW-NE e os diabásios ou andesitos na direção SE-NW.

De acordo a SILVA (2001), o contexto morfoestrutural acima descrito, condiciona a uma compartimentação onde se verifica um padrão reticulado losangular, com relevo positivo linear nas direções NW-SE e NE-SW, modificando-se para um relevo negativo, nas áreas interiores a estes. A repetição, de forma homogênea e constante, das direções acima comentadas, corresponde ao padrão principal de evolução do aparelho cárstico na região, sendo que cada unidade geométrica losangular (cujo esboço pode ser visualizado na figura da página) apresenta comportamento hidráulico independente.

2.4.1 Estudos relativos à fragilidade e vulnerabilidade da região compreendida pelo aquífero cárstico.

Tomando-se como referência alguns trabalhos realizados na área da Região Metropolitana de Curitiba, e mais especificamente na Região do Aquífero Cárstico, podemos notar um consenso quanto à fragilidade deste meio. Os autores, como veremos a seguir, ressaltam a fragilidade natural do sistema e os impactos provocados pela ocupação e uso inadequados dos seus recursos naturais que em última instância irá refletir na poluição dos recursos hídricos subterrâneos.

Vale ressaltar, antes de passarmos à citação dos trabalhos, que é o meio rural que fornece, de modo crescente, um recurso dos mais essenciais e apreciados: a água. São as regiões rurais que permitem a alimentação dos lençóis freáticos, sua realimentação e, também, a formação das descargas dos cursos d'água. Portanto, torna-se imperioso um diagnóstico preliminar destinado a esclarecer o destino que se dá às terras, pois a sua degradação comprometerá também os recursos hídricos (TRICART, 1977).

Segundo BIGARELLA; BECKER e SANTOS (1994), o relevo cárstico compreende feições topográficas características originadas pela dissolução química e erosão mecânica de rochas calcárias ou dolomíticas, possuindo algumas determinantes fundamentais para o seu desenvolvimento: a) rocha calcária permeável e solúvel na superfície; b) rocha espessa, maciça, fissurada e fraturada; c) surgência de água percolada através das fissuras ou de alguns canais ou condutos; d) rocha impermeável; e) dissolução de CO₂ atmosférico.

Para os autores supracitados, a região cárstica é altamente desenvolvida em regiões úmidas onde a cobertura vegetal possibilita a existência de um solo ácido, rico em húmus, que acentua a acidez da água e, conseqüentemente seu poder dissolutivo. A dissolução inicia-se no diaclasamento e nas fraturas das rochas calcárias, que se alargam em formas mais arredondadas.

Em trabalho recente TEODOROVICZ *et al* (1994) compartimentalizaram a superfície da Região Metropolitana de Curitiba – de acordo as suas características litológicas, geomorfológicas e estruturais - em grandes domínios morfolitoestruturais dos quais pode-se destacar aquelas encontradas na área da Bacia Hidrográfica de

Fervida/Ribeirão das Onças: as planícies aluviais muito estreitas, os terrenos constituídos principalmente pelos diques de diabásio relacionados ao magmatismo mesozóico, e os terrenos cársticos. A essas unidades morfolitoestruturais foram atribuídas classes de fragilidade em relação aos seus usos.

Por se tratar de um relevo com baixa declividade e drenabilidade, apresentando um lençol freático muito próximo da superfície e devido à presença de sedimentos pouco consolidados, as planícies aluviais estreitas apresentam uma alta fragilidade para a ocupação urbana, comprometendo a qualidade da água devido aos efluentes domésticos não tratados. Já para o uso agrícola, a fragilidade desta unidade é diagnosticada como moderada pelo fato dos solos apresentarem-se geralmente bastante férteis, de baixa erodibilidade e fácil mecanização, mas de restrito uso aos adubos e defensivos que possam vir a contaminar o lençol freático e as águas dos rios.

Para os terrenos de diques de diabásio, a fragilidade à ocupação urbana e ao uso agrícola é diagnosticada como sendo alta e moderada respectivamente. Pelo fato de conterem alta concentração de diques de diabásio, essas áreas se definem como zonas de cisalhamento rúptil, apresentando o substrato rochoso extremamente fraturado. Em função disso, são naturalmente muito susceptíveis a movimentações de massas e também muito percolativas, o que possibilita a infiltração rápida de fluídos para os subsolos. Portanto, são extremamente vulneráveis a qualquer tipo de poluente e muito instáveis quando escavadas em profundidades que ultrapassem a transição solo/rocha. Assim, a implantação de loteamentos, o lançamento de efluentes domésticos não tratados, as construções com fundações rasas e o arruamento feito de maneira ilógica devem ser restringidos nestas áreas.

Em função da boa qualidade do solo e condições topográficas relativamente favoráveis, a atividade agrícola é praticada com bastante intensidade nessa área. Entretanto, pelo fato do substrato rochoso ser extremamente fraturado e também pela existência de dolinas e sumidouros de drenagem nas suas imediações dever-se-á levar em conta a restrição e planejamento do uso de defensivos e adubos químicos poluentes, assim como da excessiva mecanização dos solos.

Finalmente, a unidade dos terrenos cársticos apresenta as fragilidades muito alta/alta e alta/moderada para a ocupação urbana e uso agrícola respectivamente.

Por serem áreas constituídas de rochas de altíssima solubilidade (rochas carbonáticas) e por conterem muitas dolinas apresentam altíssimo risco de afundamentos bruscos, dificultando as atividades geotécnicas como escavações e fundações. Por conterem dolinas e sumidouros de drenagem, são áreas ao mesmo tempo de descarga e recarga de aquíferos. Por isso, são terrenos altamente vulneráveis a qualquer tipo de poluente.

Contudo, por serem constituídas de solos profundos e com baixa pedregosidade, e por apresentarem relevo com declividades baixas, são bastante adequadas para a prática da agricultura mecanizada, entretanto, a prática intensiva da olericultura convencional e o desmatamento abusivo das matas ribeirinhas vêm provocando uma intensa erosão superficial dos solos que são carregados com alta carga de poluentes agrícolas para a rede de drenagem que já se encontra muito assoreada e, em consequência, com volume d'água bastante reduzido.

No 'Relatório Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba', a COMEC (1997), qualifica o aquífero cárstico como de alto grau de vulnerabilidade à contaminação orgânica, por tratar-se de um meio fraturado com alargamento de vazios por dissolução, sendo tanto mais exposto quanto menor as espessuras de solo presentes. Carecem de maiores cuidados as áreas de recarga com pequenas espessuras de solo e apresentando densidade intensa de fraturamento e estruturas cársticas (dolinas, uvalas, sumidouros, etc).

Ainda, segundo este aspecto, tem como vantagem, o curto período de permanência da água no aquífero, possibilitando uma vez saneados os pontos de contaminação em superfície, rapidamente retornar às condições originais de boa qualidade do manancial.

Com o objetivo de avaliar a vulnerabilidade do aquífero cárstico frente ao uso de adubação nitrogenada química, orgânica e descarga de efluentes domésticos não tratados, FRITZSON (1999) analisou, por meio de amostras de água, os teores elevados de nitrato responsáveis pela poluição dos corpos hídricos.

Embora não fossem constatados altos teores de nitrato no total das amostras, algumas nascentes já revelaram uma poluição significativa por este elemento. Este resultado revelou uma preocupação, pois a poluição por nitrato em água subterrânea

demanda um certo tempo para aparecer em concentração considerável. A este intervalo os cientistas chamam de 'tempo ecológico bomba'.

Quanto à vulnerabilidade dos componentes físicos e biológicos do aquífero, a autora classifica como mais susceptíveis os solos litólicos, hidromórficos e cambissolos sobre calcários. As classes menos susceptíveis à contaminação por nitrato foram solos Terra Bruna Roxa estruturada e os Cambissolos sobre os diabásios¹⁶. As tipologias geológicas também foram classificadas quanto a susceptibilidade à contaminação por nitrato: os diabásios receberam peso um (1), ou seja, menor fragilidade em relação aos quartzitos e filitos (de peso 2) e aos calcários, que recebeu o maior peso, ou seja o peso 3, comparativamente o maior grau de fragilidade.

Quanto ao impacto ambiental causado pela ocupação e uso do solo, a autora classificou em classes de menor impacto e impacto nulo as Terras Brunas e Roxa estruturada sob cultura, seguido da sob habitação, e as terras florestadas respectivamente. A classe de impacto médio foi a dos cambissolos predominantes na área sob agricultura e pastagem, enquanto as de maior impacto foram os Litólicos, Hidromórficos e cambissolos sob habitação.

Vale ressaltar que Fritzsons coloca o sistema de cultivo de hortaliças praticado na bacia como de elevado potencial de impacto quanto à poluição por nitrato. Os efluentes domésticos rurais, apesar de serem em seu conjunto menos impactantes quando comparados com o sistema agrícola, tornam-se altamente impactante devido à falta de um sistema de saneamento básico capaz de substituir o uso de fossas que introduzem diretamente o esgoto no aquífero, reduzindo as chances de depuração por parte do solo.

¹⁶ Aqui há uma controvérsia quanto à vulnerabilidade litológica dos diabásios. De acordo a FOSTER (1988) e TEODOROVICZ (1998), pelo fato de se definirem como zonas de cisalhamento rúptil, os diabásios apresentam o substrato rochoso extremamente fraturado e com muitas descontinuidades estruturais. Em função disso, são naturalmente muito susceptíveis a movimentos naturais de massa e também muito percolativas (infiltração rápida de fluidos para o subsolo). Sendo assim, a baixa vulnerabilidade é dada mais pela existência de um horizonte B textural que propriamente pelas características do diabásio. Contudo, quando analisada esta característica conjuntamente com o uso inadequado do solo (p.e. uso inadequado de implementos agrícolas no preparo do solo) a vulnerabilidade destas áreas pode vir a tomar outro extremo, ou seja, em uma classe altamente vulnerável, como veremos mais adiante.

2.5 JUNTANDO AS PEÇAS: RESUMO DO REFERENCIAL TEÓRICO.

Após a exposição de alguns dos conceitos e idéias a respeito do tema *fragilidade ambiental* (ROSS, 1994), vale a pena traçar um roteiro com os pontos-chave norteadores do capítulo.

Buscou-se neste trabalho analisar a amplitude conceitual do termo fragilidade ambiental - entendido como a fragilidade dos sistemas naturais frente às formas de apropriação antrópica dos seus recursos - confrontando-o com os conceitos de vulnerabilidade, estabilidade e resiliência (ODUM, 1986) - aplicáveis às teorias ecológicas sobre os ecossistemas.

Mostrou-se que por trás deste termo existe uma ampla discussão a respeito da evolução dos paradigmas teórico-metodológicos da ecologia em torno do assunto (MADE, 2000): algumas vertentes encarregam-se de ressaltar os limites inerentes aos sistemas naturais ao defenderem a teoria monoclimática (noção unidirecional da resiliência), ao passo que outras ressaltam a capacidade regenerativa ou adaptativa dos sistemas naturais complexos, que influenciados pelos processos sinérgicos e simbióticos, apresentam diferentes estados de equilíbrio dinâmico (CHORLEY, 1971) frente aos distúrbios naturais e antrópicos. Este contraponto é destacado no trabalho a partir do questionamento de LOVELOCK (1991): "*os modelos ecológicos e a ecologia teórica até agora não conseguiram explicar a grande estabilidade de alguns ecossistemas naturais complexos e, principalmente, os mecanismos de estabilidade da vida no planeta*".

Enfatizou-se, por outro lado, que as fragilidades e vulnerabilidades dos sistemas ambientais – configurados por comportamentos, valores e saberes, bem como novos potenciais produtivos (LEFF, 1998) - derivam das lógicas de valorização dos seus recursos por parte das sociedades produtivistas, ou seja, o discurso das ciências ambientais passou a abranger a partir do começo do século XX a visão de uma natureza socialmente construída (SANTOS, 1997) - expressão e testemunha de um processo co-evolutivo (REDCLIFT e WOODGATE, 1998) entre sociedade e natureza – na qual o fator antrópico é incorporado ao estudo e análise das ciências ambientais.

Assim, em um segundo momento, atentou-se ao fato de que seriam necessários novos enfoques metodológicos capazes de apreender a multicausalidade e o potencial sinérgico do conjunto de processos de ordem física, biológica, tecnológica e social. O geossistema (BERTRAND, 1971 e SOTCHAVA, 1978) foi apresentado neste trabalho enquanto ciência que se propunha a entender a estrutura e a dinâmica da paisagem, esta concebida como um sistema espacial dinâmico de fenômenos naturais e sociais.

O enfoque sistêmico também é utilizado para analisar a dinâmica da exploração agrícola e os impactos advindos dessa lógica produtiva nas dimensões social, ecológica e econômica. Nesse sentido, buscou-se trazer de ALTIERI (1989; 2002) análise retrospectiva dos últimos 10 anos da agricultura na América Latina que destaca os impactos ambiental e social advindos da intensificação agroquímica na agricultura comercial superam 10 bilhões de dólares por ano, sem incluir ainda os impactos socioambientais associados. Em contrapartida, a agricultura familiar que se mostra como uma forma social extremamente ligada a terra em todas as esferas da vida social (GEHLEN, 1998) e cujas características de diversidade/integração de atividades vegetais e animais, e por trabalhar em menores escalas, pode representar o locus ideal ao desenvolvimento de uma agricultura ambientalmente sustentável (CARMO, 1998; ELHERS, 1999).

Juntamente com o conceito de geossistema, apresentou-se a metodologia da Ecodinâmica (TRICART, 1977) que em conjunto com instrumental computacional fundamentado em teorias matemáticas de incorporação da complexidade (lógica fuzzy-AHP), propõe-se mapear e identificar os graus de fragilidade e vulnerabilidade do geossistema no qual se insere a Bacia Hidrográfica Cárstica de Fervida e Ribeirão das Onças (BHC/FR), incorporando aos solos (BERTRAND, 1971; TRICART, 1974; CASSETI, 1991; RUELLAN e DOSSO, 1993) valor diferenciado dentre os elementos geossistêmicos.

A seguir, serão apresentados os materiais e as propostas metodológicas utilizadas no mapeamento da fragilidade ambiental do geossistema da BHC/FR; os resultados obtidos com a aplicação das propostas metodológicas e a discussão dos mesmos.

3 MATERIAL

Para o entendimento de um dado geossistema faz-se necessário uma abordagem integradora dos subsistemas - uma vez que se analisados de forma dissociada implicaria na ruptura das relações processuais como um todo, proporcionando uma abordagem metafísica. Assim, seguindo essa idéia, decidiu-se apresentar os aspectos do meio físico, biológico e antrópico como um conjunto pertencente a um sistema cujas ações e reações estão condicionadas pela matéria (em seus três estados) e pelas fontes energéticas (internas e externas).¹⁷

O estudo geossistêmico da paisagem pode estar também vinculado a alguns conceitos correlatos, entre eles: a) bacia hidrográfica, cujos limites podem ou não corresponder aos limites de uma paisagem; b) região, caracterizada pela similaridade de alguns aspectos fisiográficos, biológicos e/ou sócio-culturais; e c) ecossistema (FORMAM e GODRON, 1986).

A bacia de drenagem revela-se como uma unidade conveniente ao entendimento da ação dos processos hidrológicos e geomorfológicos, decorrentes de ações naturais ou antrópicas, e das ligações espaciais entre áreas distintas que podem afetar tanto o planejamento local como o planejamento regional (NETTO, 1995).

Dessa forma, neste trabalho a bacia hidrográfica apresenta-se como uma unidade integradora, na qual serão apresentados os aspectos do meio físico (geologia, relevo, hidrologia), biológicos (vegetação, solo) e antrópicos (história e características do sistema de usos e ocupação das terras), vinculados direta ou indiretamente ao tema pesquisado que fornecerão subsídios para aplicar e alterar a metodologia de avaliação da fragilidade ambiental da área.

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA.

As microbacias hidrográficas de Fervida e de Ribeirão das Onças estão localizadas sobre o aquífero cárstico paranaense, mais especificamente no

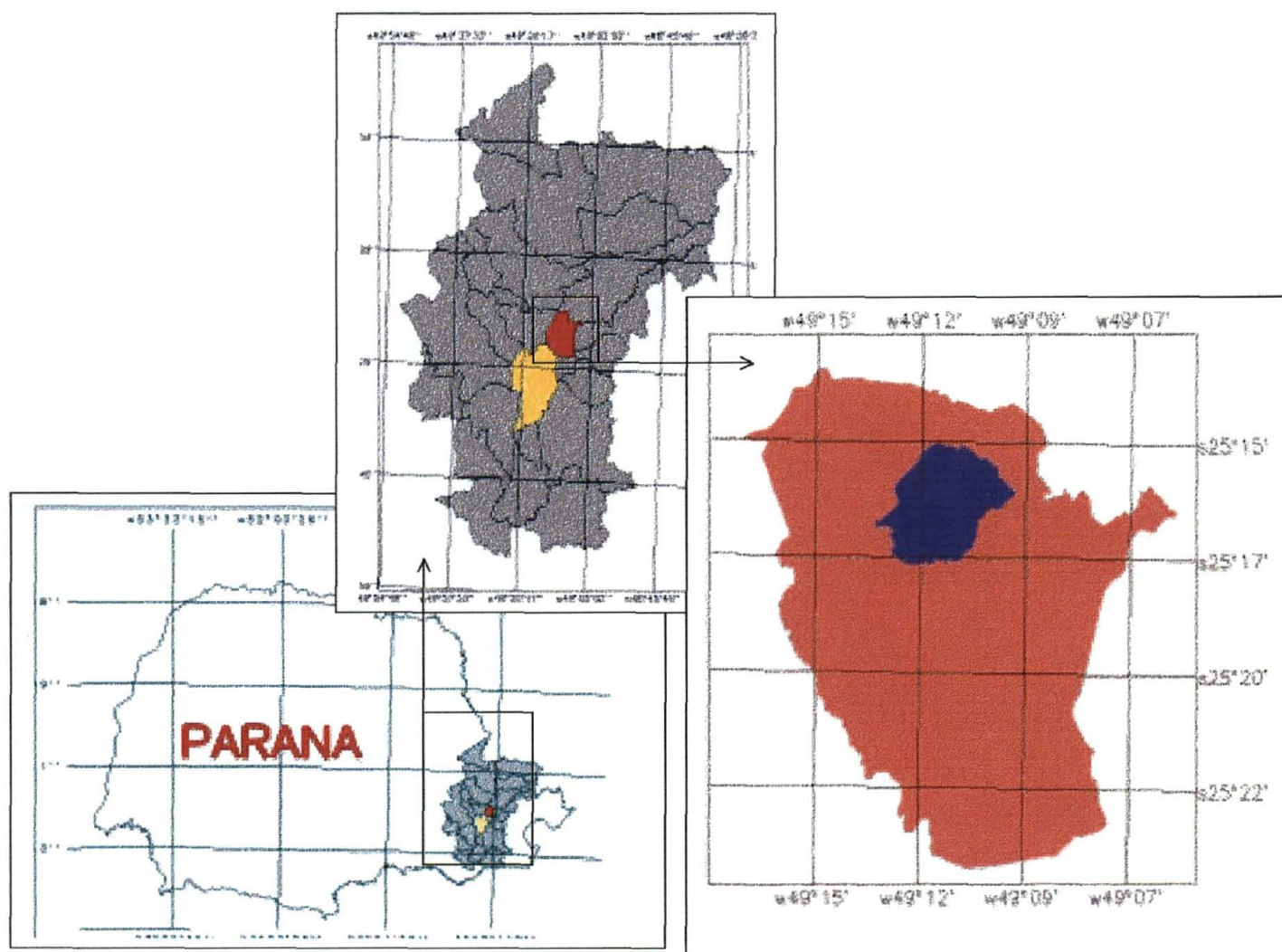
¹⁷ CASSETI, V. Ambiente e apropriação do relevo. São Paulo: Contexto, 1991.

município de Colombo, integrante da Região Metropolitana de Curitiba, situando-se ao norte de Curitiba e tendo como limites os municípios de Bocaiúva do Sul, Rio Branco do Sul, Almirante Tamandaré, Pinhais e Campina Grande do Sul.

Elas ocupam uma área de 13,15 e 3,53 Km² respectivamente e sua localização geográfica é a seguinte: latitude 25° 15' a 25° 17' (S) e longitude 49° 09' a 49° 14' (W).

A Figura 4 disposta a seguir localiza a área de estudo a partir da sequência estado, municípios e bacia hidrográfica.

FIGURA 4 - MAPA DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA.



3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA.

Segundo a classificação de Köppen, baseada na temperatura e pluviosidade, o tipo climático da região é Cfb. Este clima se define como: clima pluvial quente-temperado, com mês mais frio possuindo temperatura entre $+18^{\circ}$ e -3°C ; sempre úmido, com chuva todos os meses do ano e temperatura do mês mais quente abaixo de 22°C , e onze meses do ano com temperaturas médias maiores que 10°C . Está sujeito a precipitações regulares todos os meses do ano e as geadas severas, raramente neve e não apresenta (na média) estação seca. Quanto à insolação da área apresenta 2000 horas/ano, representando 42% da insolação máxima possível (MAACK, 1981).

De acordo com as cartas climáticas básicas do Estado do Paraná, a média anual das temperaturas mínimas da região oscila entre 11° e 12°C , enquanto que a média anual das máximas fica entre 23° e 24°C . A média anual global está em torno de 16° e 17°C . O trimestre menos chuvoso (Junho-Julho-Agosto) apresenta precipitação pluviométrica entre 250 e 300 mm/ano, enquanto que o mais chuvoso (Dezembro – Janeiro – Fevereiro) com precipitação pluviométrica entre 600 e 700 mm/ano (IAPAR, 1978).

O histograma anual de distribuição das precipitações pluviométricas confeccionados com dados de duas estações pluviométricas mais próximas da área de estudo, Colombo e Juruqui (Almirante Tamandaré), fornecidos pelo DNAE (1995), apresenta uma precipitação média anual de 1475mm de 1975 a 1994 (período de 19 anos).

3.3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

De acordo ao mapeamento geológico da Folha A 103 da Região Metropolitana de Curitiba (escala 1:20.000) do 'Projeto Geotecnia-RMC', a MINEROPAR (1997) em convênio com a COMEC, identificou nas microbacias estudadas as seguintes litologias conforme suas eras geológicas (Figura 5)

1. TERCIÁRIO – QUATERNÁRIO

a. **Aluviões Atuais:** sedimentos areno-siltico-argilosos, depositados em ambiente fluvial. Camadas decimétricas de areia de granulação fina a grossa e cascalhos, com seixos subangulosos e subarredondados de quartzo.

c. Formação Guabirotuba:

b.1) Sedimentos argilosos de coloração cinza-esverdeada, com grânulos de quartzito e feldspato. Ocorrem raras intercalações e lentes centimétricas a métricas de arcócio de granulação média e grosseira.

b.2) arcósios, cascalhos e conglomerados, lenticulares, com espessuras decimétricas e métricas. Secundariamente ocorrem intercalações de sedimentos argilosos.

2. MESOZÓICO

b. Diques de diabásio.

3. PROTEOZÓICO

c. Grupo Açungui – Formação Capiuru.

c.1. Quartzitos.

c.2. Metapelitos (Filitos, metassiltitos, metargilitos e metarritmitos).

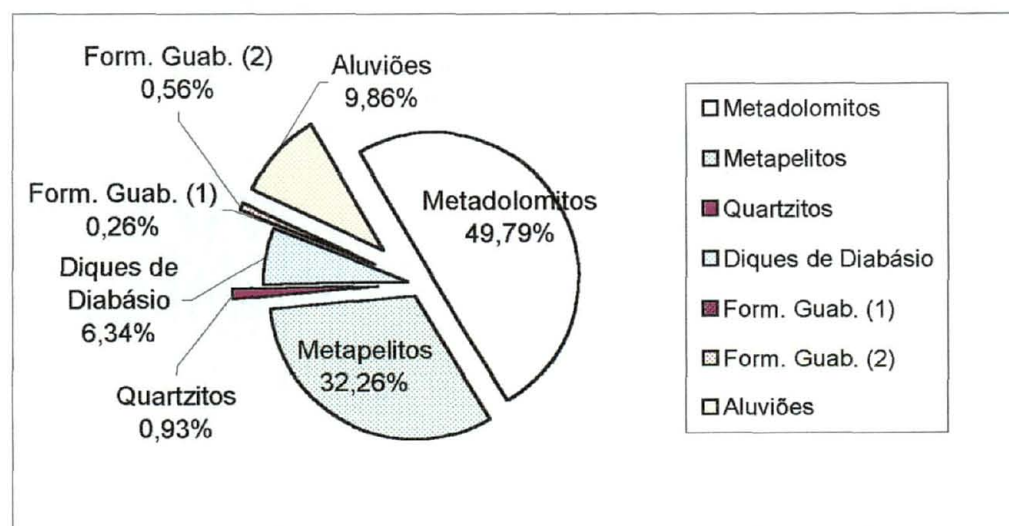
c.3. Metadolomitos.

c.4. Calco-xistos.

d. Complexo Gnáissico-Migmatítico.

d.1. Gnaisses/Migmatitos.

GRAFICO 1 - PORCENTAGEM DAS CLASSES GEOLÓGICAS DA BHC/FR.



Uma relação hierárquica de intemperismo pode ser estabelecida para as tipologias litológicas presentes na Bacia hidrográfica cárstica de Fervida e Ribeirão das Onças.

De acordo a PENTEADO (1974), os quartzitos de composição siliciosa homogênea, equigranular e cimentado com cimento silicoso são o tipo de rocha que melhor resiste ao ataque químico. As argilas e xistos e as areias possuem em comum a fraca resistência à erosão por escoamento superficial: as argilas e os xistos têm grande plasticidade, embora nos últimos, essa erosão seja mais acentuada pelos seus planos de xistosidade, porém são quase imunes à decomposição química. Os calcários, coerentes, pouco plásticos e homogêneos - distinguem-se pela sua "permeabilidade" graças ao fissuramento e a sua solubilidade - são imunes à erosão pelas águas superficiais, mas são altamente susceptíveis à decomposição química.

Nas áreas metamórficas os quartzitos, granitos e migmatitos, são as rochas geralmente mais resistentes ao intemperismo, ao contrário de filitos, micaxistos e ardósias (FIORI, 1995).

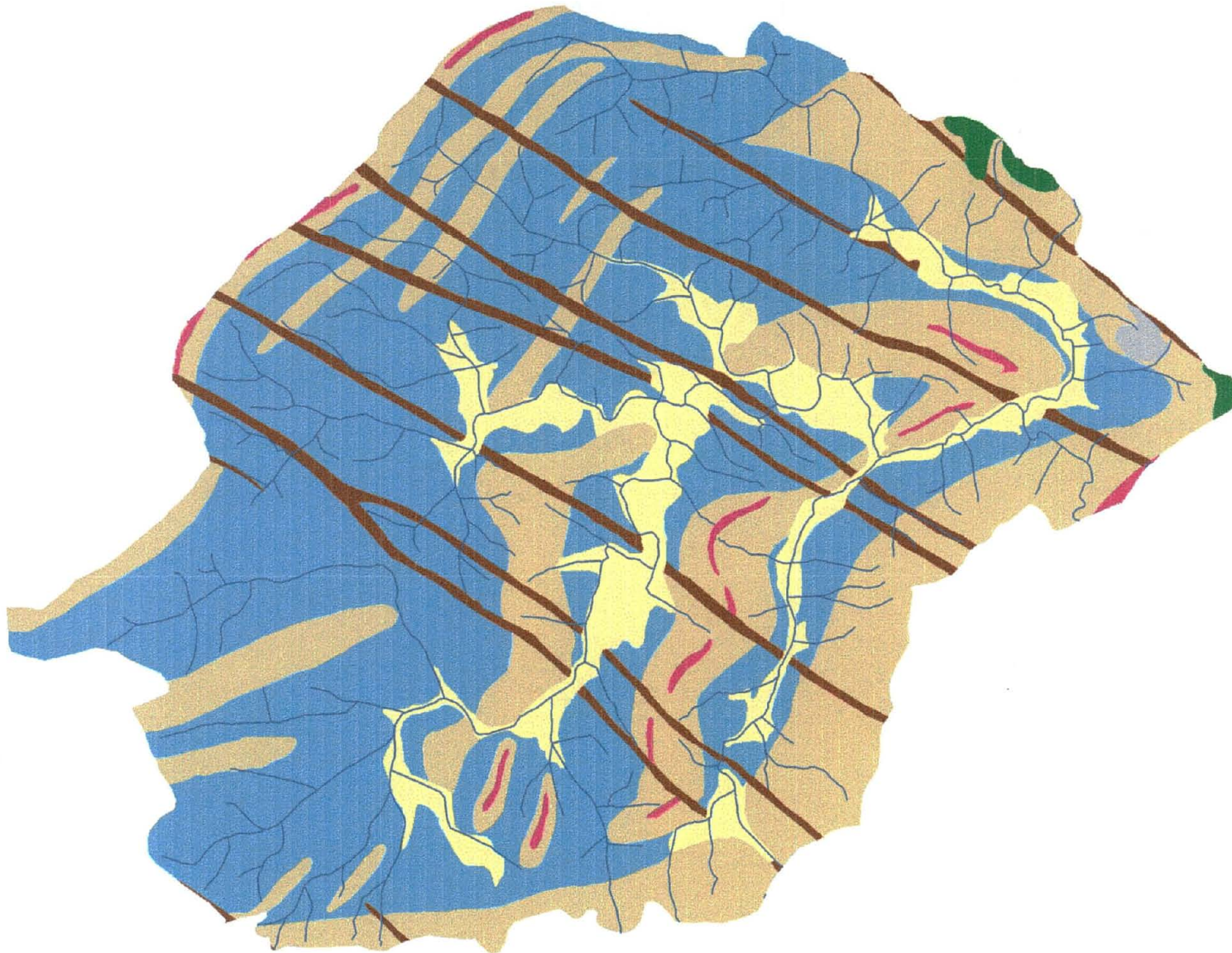
De acordo a LISBOA (1997), os quartzitos, filitos e até diabásios resistem mais do que as rochas carbonáticas ao intemperismo e à erosão de região úmida.

TEODOROVICZ et al (1994) classificaram a constituição litológica da área da BHC/FR. As planícies aluviais caracterizam-se pela alta permeabilidade, pela ausência de fraturamento, por muito baixa dureza e baixa coesão. Os diques de diabásio são caracterizados pelo grau de intemperismo parcial, pelo alto grau de permeabilidade, pelo alto grau de fraturamento, pela dureza muito baixa e pela baixa coesão. Os metadolomitos são caracterizados pelo extremo grau de intemperismo, alta permeabilidade, denso fraturamento, baixa dureza e baixa coesão.

Conforme o mapa geológico (Figura 5) elaborado pela MINEROPAR (1997) são apresentadas as tipologias litológicas presentes na área da Bacia Hidrográfica cárstica.

MAPA GEOLÓGICO

Bacia Hidrográfica de Fervida
Ribeirão das Onças – Colombo/PR



Legenda:

- Aluviões
- Form. Guab. (2)
- Form. Guab. (1)
- Diques de Diabásio
- Quartzitos
- Metapelitos
- Metadolomitos

Fonte: MINEROPAR (1997).

Organizado por: Nicolas Floriani (2002).

0.3 0 0.3 0.6 0.9 1.2 km
Escala 1:30000

3.4 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA.

No 'Projeto Curitiba – Informações básicas sobre o meio físico: subsídios para o planejamento territorial', TEODOROVICZ *et al* (1994) descrevem as principais características do relevo do território da Folha Curitiba - na escala 1:100.000 - a partir da integração de informações adquiridas por fotointerpretação e levantamentos de campo. Essa compartimentação fundamentou-se na associação entre características litológicas, geomorfológicas e estruturais, resultando no mapeamento dos grandes domínios morfolitoestruturais.

Na área da Bacia Hidrográfica de Fervida/Ribeirão das Onças, encontram-se os seguintes domínios, com suas respectivas subdivisões:

- 1) **Domínio 1 - subdomínio 1c:** abrange as planícies aluviais muito estreitas, a exemplo dos aluviões do rio Capivari.

Essas **planícies aluviais**, conforme os autores apresentam *dissecação*¹⁸ nula, pois apresentam característica de relevo em formação (agradacional), ou seja, está recebendo sedimentos do atual ciclo de erosão. A densidade de relevo é nula, ocorrendo apenas pequenos terraços um pouco mais elevados do que as calhas dos rios. Não apresenta encostas, o relevo é plano. Ruptura de declive também é ausente. O desnível altimétrico é muito baixo a praticamente nulo. Ravinaamentos são ausentes e a declividade média é de 0 a 5%.

- 2) **Domínio 3 – subdomínio 3b:** terrenos constituídos principalmente pelos diques de diabásio relacionados ao magmatismo mesozóico.

Este subdomínio foi distinguido pelo intemperismo parcial dos **diques de diabásio**, ou seja, ocorrem na superfície dos terrenos de esparsos blocos de pedra fresca ou parcialmente intemperizada. É configurado por morros médios a altos, estreitos, bastante alongados na direção NW-SE, com encostas convexas e

¹⁸ ROSS (1996 a) define a intensidade de dissecação (ou a intensidade de rugosidade topográfica) como "o primeiro grande indicador da fragilidade potencial que o ambiente natural apresenta. A densidade de drenagem associada ao grau de entalhamento dos canais combinados, determina a rugosidade topográfica, ou índice de dissecação do relevo e obviamente define a dimensão interfluvial média dos conjuntos homogêneos de formas ou conjuntos de formas semelhantes".

convexo-retilíneas curtas, de declividades moderada a alta. O desnível altimétrico médio está entre 90 a 160m. Apresenta ravinamento, principalmente nas áreas agrícolas.

3) **Domínio 5 – subdomínio 5b:** envolvem terrenos cársticos topograficamente rebaixados em relação ao contexto regional. A natureza cárstica só é evidenciada em função da existência de depressões fechadas (dolinas).

Esse **relevo cárstico** apresenta uma dissecação parcial, ou seja, entre os estágios juvenil e o de maturidade. Densidade de drenagem moderada a alta. Forma e extensão das encostas do tipo convexas longas e côncavas-convexas curtas em colinas e morros baixos. Não apresenta ruptura de declive. O desnível altimétrico está entre 80 e 100m, Existem ravinamentos bastante freqüentes, principalmente nas áreas agrícolas e nos locais desprovidos de vegetação. A declividade média está entre 20 a 35% e até 45%.

A imagem sombreada gerada no programa SPRING (Sistema para Processamento de Informação Geográficas) 3.6.03, mostrando a morfologia do relevo da BHC/FR, e o gráfico com as porcentagens dos tipos de relevo podem ser visualizados nas figuras 6 e 7 e no gráfico 2.

FIGURA 6. IMAGEM SOMBREADA MOSTRANDO A MORFOLOGIA DO RELEVO DA BHC/ FR.

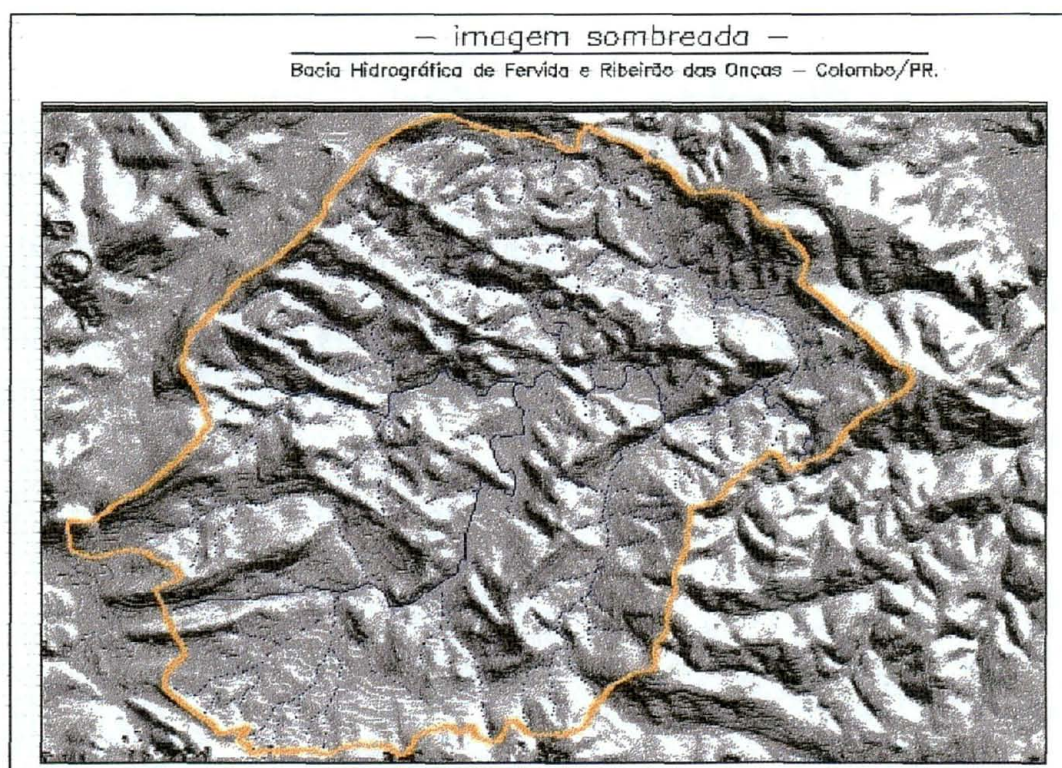


GRAFICO 2 - PORCENTAGEM DOS TIPOS DE RELEVO DA BHC/FR.

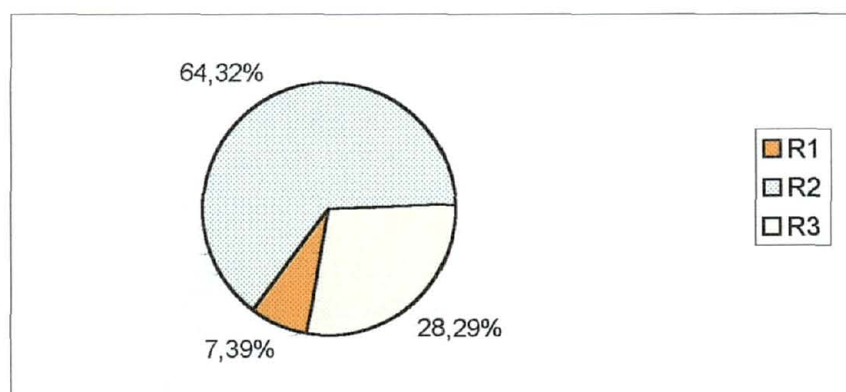
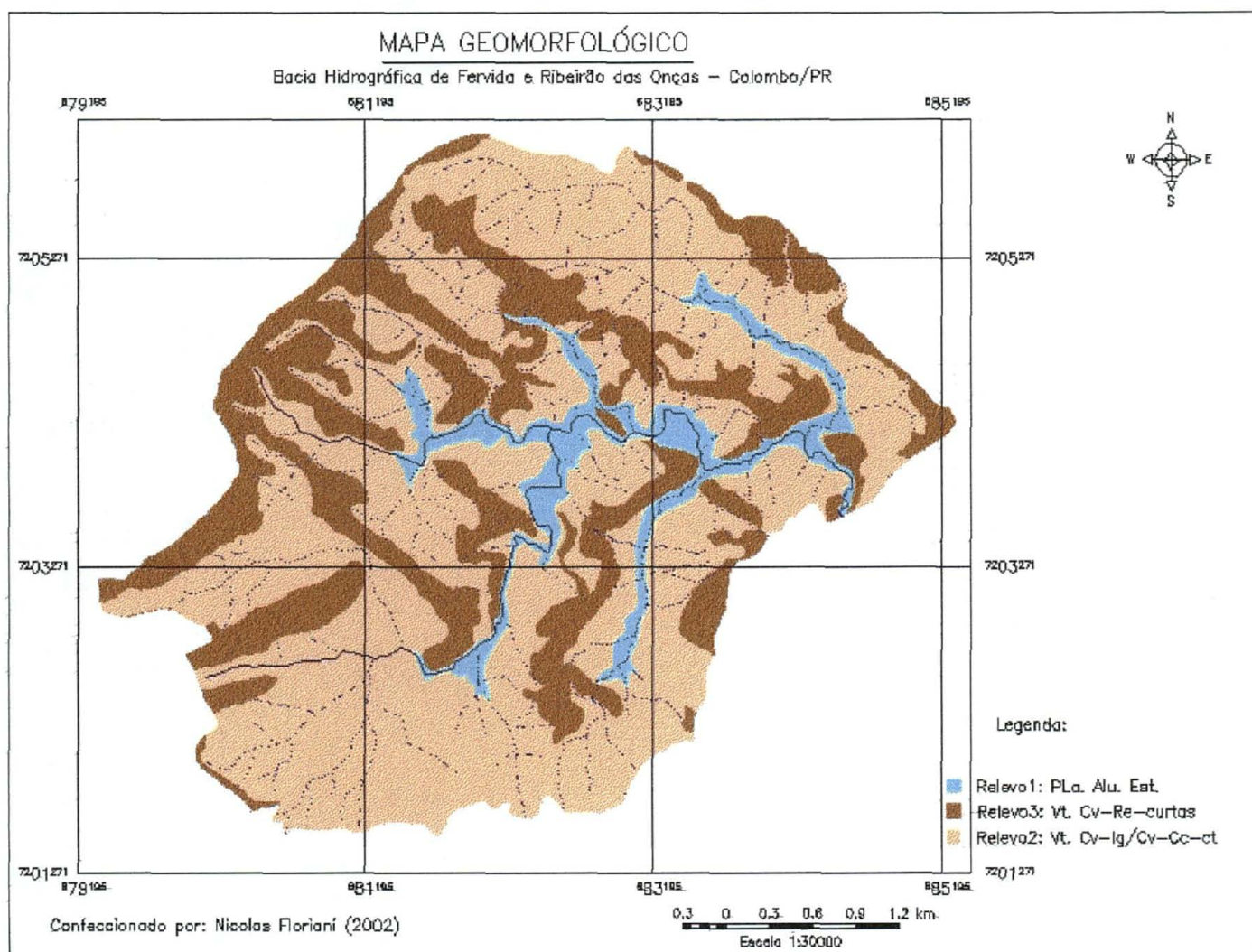


FIGURA 7. MAPA GEOMORFOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA CÂRSTICA DE FERVIDA E RIBEIRÃO DAS ONÇAS.



3.5 CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA.

A EMATER em 1998 realizou um levantamento semi-detalhado das áreas de Colombo Sede e Fervida. Neste Trabalho, a Emater utilizou-se dos mesmos subsídios utilizados no "EIA da Exploração do Aquífero Carste do Município de Colombo de 1996" realizado pela SANEPAR, que foram gerados pela EMBRAPA em 1984 (SANEPAR, 2001).

Assim, na região da Microbacia de Fervida e Ribeirão das Onças, em levantamento pedológico realizado em escala de 1:10.000 pela EMATER (1998), foram identificadas diversas classes e associações de solos, separadas nas seguintes unidades, que podem ser visualizadas na figura 8:

1. *As unidades taxonômicas simples da BHC/FR:*

1.a) *Solos Litólicos eutróficos, contato litóide e lítico, textura argilosa, A moderado, relevo montanhoso e forte ondulado (Re1);*

Esta unidade abrange os solos rasos, de textura argilosa, pouco desenvolvidos, com porcentagem de saturação de bases superior a 50%, alumínio ausente e baixa capacidade de infiltração da água. O relevo é montanhoso e forte ondulado.

1.b) *Cambissolo distrófico pouco profundo e profundo, textura argilosa, A proeminente, relevo ondulado (Cd2);*

São solos com horizonte A proeminente de textura argilosa, com porcentagem de saturação de bases e de alumínio inferior a 50% e com moderada a baixa capacidade de infiltração. O horizonte B é pouco profundo com estrutura pouco desenvolvida. O relevo dominante nesta unidade de solo é o ondulado. As características de relevo, profundidade e capacidade de infiltração conferem a esta unidade de solo uma média a alta susceptibilidade a erosão.

1.c) Cambissolo distrófico, profundo, textura argilosa, A proeminente, relevo suave ondulado (Cd3);

São solos com horizonte A proeminente de textura argilosa, com percentagem de saturação de bases e de alumínio inferior a 50% e com moderada a boa capacidade de infiltração. O horizonte B é profundo, com estrutura pouco desenvolvida e o relevo dominante nesta unidade é suave ondulado. As características de relevo, profundidade e capacidade de infiltração conferem a esta unidade uma moderada a baixa susceptibilidade a erosão. Pode-se considerar ainda que as possibilidades de mecanização destes solos são boas.

1.d) Terra Bruna Roxa estruturada eutrófica, A moderado, profunda, relevo forte ondulado e ondulado (TBREe).

São solos de textura argilosa, bem desenvolvidos, A moderado, profundos, apresentando um gradiente textural de baixa intensidade entre os horizontes A e B. Apresentam ainda pedras tanto na superfície quanto no corpo do solo, porém de baixa densidade. O relevo dominante é o forte ondulado, ocorrendo também o relevo ondulado. O horizonte B apresenta uma porcentagem de saturação de bases superior a 50% e ausência de alumínio trocável. As características de relevo, gradiente textural e capacidade de infiltração, dão a esta unidade, muito forte susceptibilidade a erosão. Já o bom estoque de nutrientes disponível no solo, o alto teor de matéria orgânica e a ausência de alumínio, conferem uma boa fertilidade natural. Para esta unidade, pode-se considerar que em razão do relevo e da presença de pedras na superfície e ao longo do perfil, as possibilidades de mecanização também são quase nulas. Porém, as possibilidades de uso da tração animal são boas.

1.e) Cambissolo latossólico álico, profundo, A húmico, de relevo suave ondulado e plano (Ca);

São solos argilosos, desenvolvidos, com características principalmente de estrutura, profundidade e grau de intemperismo semelhante aos latossolos, porém com grau ainda inferior a estes. O horizonte A é húmico, profundo e com alto teor de

carbono. O horizonte B é profundo, com porcentagem de saturação de bases inferior a 50% e saturação de alumínio superior a 50% e com boa capacidade de infiltração. O relevo dominante nesta unidade é os suaves ondulosos, ocorrendo também o relevo plano. Em razão das características de relevo, profundidade e capacidade de infiltração, pode-se dizer que esta unidade apresenta baixa susceptibilidade a erosão. Pode-se considerar ainda que as possibilidades de mecanização destes solos são boas.

1.f) Litólicos distróficos, contato litóide e lítico, textura argilosa, A moderado, relevo montanhoso (Rd1);

São solos rasos, com horizonte A moderado, pouco desenvolvidos, de textura argilosa, com saturação de bases e de alumínio inferiores a 50%, com valores médios a altos de carbono orgânico e com baixa capacidade de infiltração. Esta unidade de solo ocupa uma paisagem de relevo montanhoso e localiza-se nos interflúvios estreitos e no terço superior das encostas.

2. As Associações (unidades taxonômicas combinadas) de solos da BHC/FR:

2.a) Associação Solos Hidromórficos gleizados + Cambissolo hidromórfico gleizado, ambos álicos, profundos, A húmico, relevo plano (HG);

São solos argilosos, pouco desenvolvidos, com horizonte A húmico e B profundo. A percentagem de saturação de alumínio sendo superior a 50%. O relevo dominante é o plano e o suave ondulado, ocorrendo na paisagem nas cotas de menor valor do terço inferior da encosta. Estes solos são mal drenados, principalmente o hidromórfico gleizado, que quando associado ao relevo plano, favorece o acúmulo de água e de matéria orgânica e restringindo a capacidade de infiltração. O relevo dominante nesta unidade é o plano, ocorrendo também o relevo suave ondulado.

2.c) Associação Cambissolo raso e pouco profundo + solos Litólicos contato litóide, ambos distróficos, textura argilosa, A moderado, de relevo forte ondulado e ondulado (Cd1);

Esta unidade possui características similares aos da unidade Ce, com exceção da fertilidade, haja vista que apresenta um menor estoque de nutrientes disponível no solo, bem como necessita neutralizar a alumínio trocável.

2.e) Associação Solos Litólicos contato litóide e lítico + Cambissolo raso, ambos eutróficos, textura argilosa, A moderado, relevo forte ondulado e montanhoso (**Re2**);

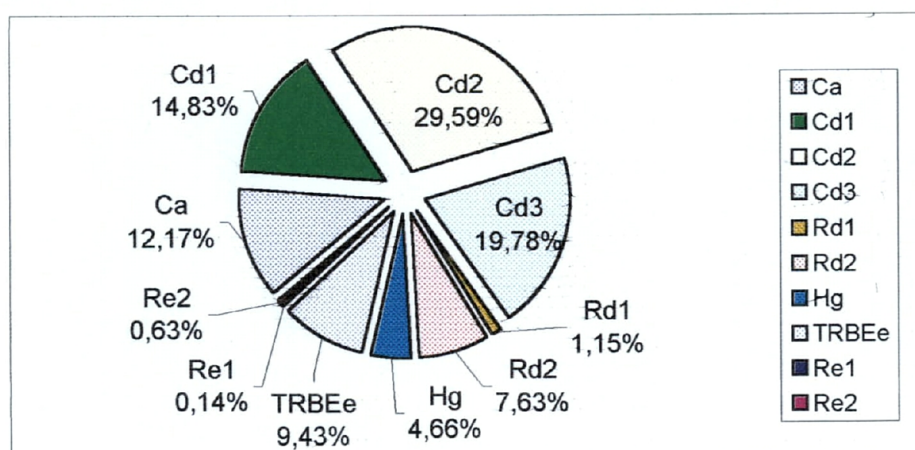
Associação de Solos Litólicos + Cambissolos, ambos eutróficos. Nas áreas de ocorrência de solos Litólicos, as características à unidade Re1. Quanto aos Cambissolos, são solos minerais não hidromórficos com horizonte B incipiente, pouco profundo, apresentando minerais primários em quantidades significantes. Apresentam altos teores de matéria orgânica, são moderadamente drenados e com horizonte A pedregoso. Esta classe ocorre em relevo forte ondulado, no terço superior da encosta.

2.f) Associação de Solos Litólicos, contato litóide + Cambissolo raso, ambos distróficos, textura argilosa, A moderado, relevo forte ondulado e montanhoso (**Rd2**);

Esta unidade apresenta solos pouco desenvolvidos, com horizonte A moderado, de textura argilosa, com percentagem de saturação de bases e alumínio inferior a 50% e com baixa capacidade de infiltração. Nas áreas onde ocorrem os Cambissolos, o relevo dominante é o forte ondulado e há a incidência de pedras tanto no horizonte A quanto no B, porém com baixa densidade. O horizonte B é incipiente a pouco profundo com estrutura pouco desenvolvida.

A porcentagem de área ocupada por cada classe de solo pode ser observada conforme o gráfico 3.

GRAFICO 3 - PORCENTAGEM DAS CLASSES DE SOLOS DA BHC/FR.



Cabe salientar que para este levantamento foram criadas legenda e nomenclatura próprias conforme os critérios adotados pelos autores, não havendo total similaridade com o sistema brasileiro de classificação de solos vigente na época. Para mais informações a respeito dos solos vide anexo 1.

Um outro exercício, embora não fosse um dos objetivos estipulados neste trabalho, foi o de tentar classificar os solos da BHC/FR de acordo ao novo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999), contudo devido à falta de dados primordiais pôde-se enquadrar os solos somente no primeiro nível categórico (Ordem). Assim, as Terras Roxas Brunas estruturadas passam a ser classificadas como pertencentes aos Nitossolos; os Litólicos e Solos Aluviais como Neossolos; os Gleis (pouco húmico e húmico) como Gleissolos; os solos Orgânicos como Organossolos; e os Cambissolos com o mesmo nome.

Neste trabalho estaremos assumindo o elemento biológico Solo como elemento de maior peso no mapeamento da fragilidade potencial do ambiente natural. Esta escolha deveu-se principalmente às características do recurso solo como fator de estabilidade do relevo, de produtividade agrícola e de depuração das águas pluviais (BERTRAND, 1971; CHORLEY, 1971; TRICART, 1974; CASSETI, 1991; RUELLAN e DOSSO, 1993).

Com relação aos solos da região compreendida pelo aquífero cárstico, o levantamento semidetalhado (escala 1:10.000) realizado em 1997 pela EMATER propiciou o estudo das qualidades dos solos presentes na bacia e o enquadramento das unidades pedológicas segundo o sistema de aptidão agrícola das terras.

Quanto às qualidades dos solos levantados na bacia, pesquisadores destacaram alguns aspectos físico-químicos e morfológicos ligados direta ou indiretamente à vulnerabilidade aos processos erosivos e, por conseguinte, ao potencial produtivo dos mesmos.

Com relação aos Cambissolos húmicos latossólicos, em função das características de relevo, profundidade, estrutura, textura e capacidade de infiltração¹⁹ (características estas que os fazem assemelharem-se aos Latossolos) eles são considerados como uma unidade de baixa susceptibilidade a erosão.

¹⁹ As características físico-químicas e morfológicas podem ser conferidas segundo tabela em anexo.

Tais características irão lhes assegurar o destaque dentre as sete unidades de paisagem caracterizadas na região. A unidade de paisagem 2 (UP2), da qual fazem parte os Cambissolos húmicos latossólicos e os Cambissolos distróficos profundos, apresentou-se como a de melhor aptidão agrícola, ou seja, de aptidão agrícola boa para todas as possibilidades de exploração segundo os níveis de manejo B e C²⁰, desde que tomadas medidas adequadas de manejo conservacionista do solo e de conservação da fertilidade.

Vale destacar que os Cambissolos constituem objeto de discussão na ciência dos solos, principalmente quando no tocante ao seu enquadramento dentro do Sistema de Classificação dos Solos. De um modo geral, os Cambissolos apresentam uma diversidade tão grande que se torna difícil o exame coletivo e apreciações generalizadas quanto às qualidades e comportamento para o conjunto desses solos sem especificar os tipos de cambissolos, e sem ter em conta a disparidade de condições de relevo e clima em que são encontrados. Pode-se mencionar que os de espessura no mínimo mediana e sem restrição prejudicial de drenagem, em relevo pouco movimentado, eutróficos ou distróficos, apresentam bom potencial agrícola (OLIVEIRA, JACOMINE e CAMARGO; 1992).

Muitos Cambissolos, especialmente os mais profundos, devido à pequena diferenciação de horizontes e ao baixo gradiente textural, são confundidos com os Latossolos - daí receberem a denominação de Cambissolos Latossólicos - embora se diferenciam destes por apresentarem menor desenvolvimento pedogenético. O potencial agrícola destes solos varia muito, dependendo das condições ambientais, especialmente da natureza do substrato rochoso e do regime hídrico (EMBRAPA, 1984).

²⁰ De acordo a RAMALHO FILHO e BEEK (1995), o nível de manejo A é baseado em práticas que refletem um baixo nível técnico-cultura. Praticamente não há aplicação de capital para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e lavouras. O nível B, baseado em práticas agrícolas que refletem um nível tecnológico médio, ou seja, caracterizado pela modesta aplicação de capital e de resultados de pesquisas para o manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e das lavouras. O nível C baseia-se em práticas agrícolas que refletem um alto nível tecnológico. Caracteriza-se pela aplicação intensiva de capital e de resultados de resultados de pesquisas para o manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e das lavouras.

MAPA DE SOLOS

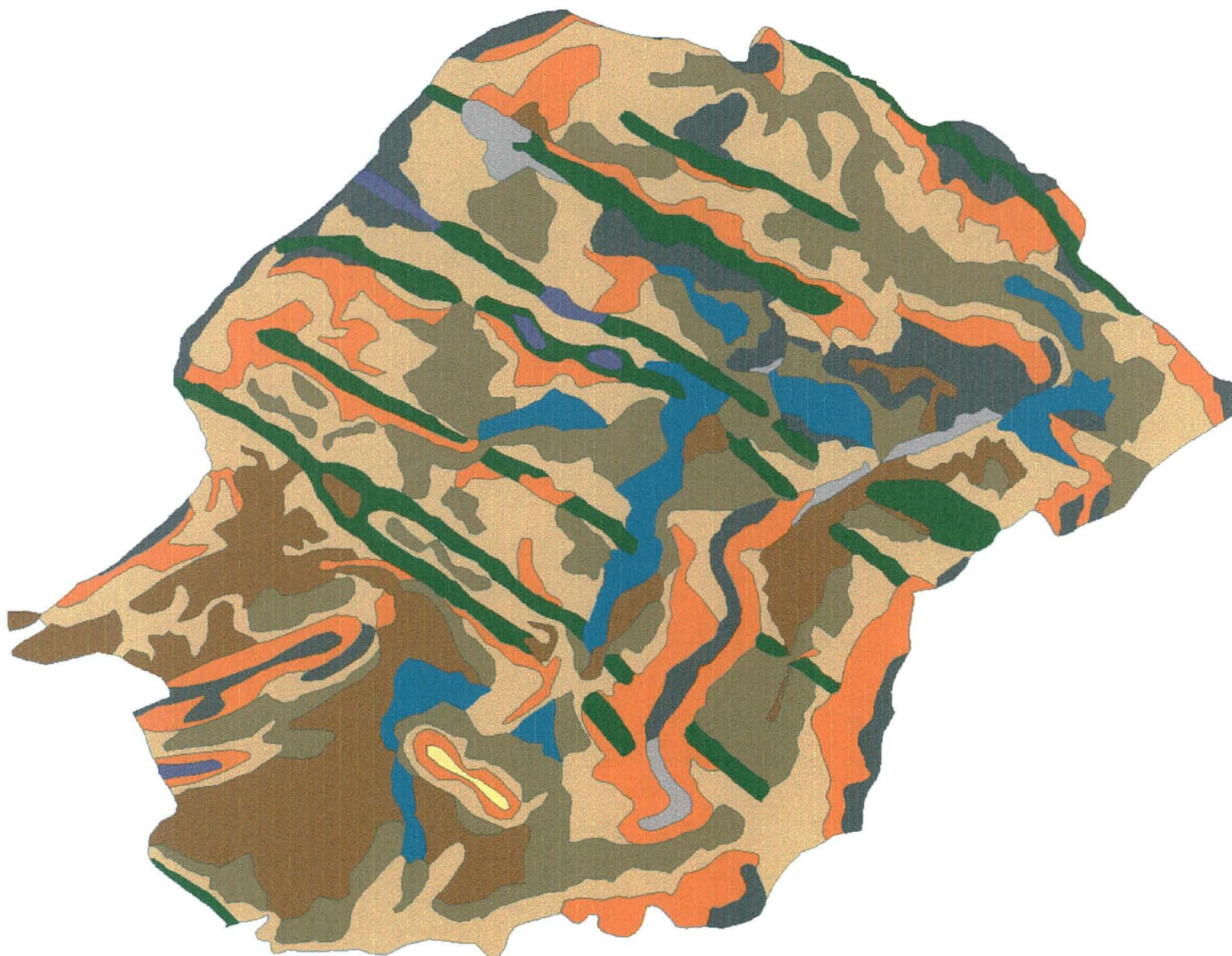
Bacia Hidrográfica de Fervida e
Ribeirão das Onças/Colombo-PR.

0.3 0 0.3 0.6 0.9 1.2 km

Escala 1:30000

Legenda:

- Re2
- Re1
- TRBEe
- Hg
- Rd2
- Rd1
- Cd3
- Cd2
- Cd1
- Ca



MEDEIROS (1994) apresenta algumas considerações sobre a aptidão agrícola, uso e manejo das principais classes de solos do Estado do Paraná. Quanto aos Cambissolos com A proeminente ou húmico (característicos da BHF/FR), apesar da baixa fertilidade natural e elevada saturação com alumínio trocável, boa parte de sua área (relevo menos movimentado) é agricultável e apresentam bons rendimentos quando usados dentro de um sistema de manejo C, principalmente mediante incorporação de elevadas doses de corretivos e fertilizantes e práticas de manejo e conservação adequadas.

Quanto às Terras Bruna Roxa estruturadas, apesar de se apresentarem como solos bem desenvolvidos, profundos, de textura argilosa, com alta saturação de bases (superior a 50%) e ausência de alumínio trocável, as características de relevo, gradiente textural e capacidade de infiltração dão a esta unidade uma susceptibilidade à erosão *muito forte*. O conjunto destas características fez com que estas unidades pedológicas fossem enquadradas como regular para culturas anuais e pastagem cultivada e boa para culturas perenes, pastagem permanente e silvicultura segundo um nível de manejo tipo B. Já para os níveis de manejo A e C, o cultivo de plantas anuais e pastagem cultivada são considerados restritos e inaptos –respectivamente - sob tais solos; regular para culturas perenes e boas para pastagem permanente e silvicultura para ambos os níveis.

3.6 CARACTERIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO.

A vegetação natural e original da área do carste, incluindo as bacias de Fervida e Ribeirão das Onças, corresponde de acordo ao sistema o sistema de classificação fisionômico-ecológico proposto por VELOSO em 1991 ao domínio da Floresta Ombrófila Mista, ou Floresta com Araucária, a qual é exclusiva do Planalto Meridional Brasileiro. Esta floresta forma associações diferentes que variam de uma área à outra. Normalmente, no seu estágio adiantado de sucessão, o pinheiro (*Araucaria angustifolia*) ocupa o dossel e no sub-bosque ocorre a presença de outras espécies. (FRITZSON, 1999).

De acordo com estudos de fitofisionomia realizados na região por KLEIN (1962), baseado em levantamento florístico de 1952, os remanescentes da Floresta Ombrófila Mista eram raros e já perturbados pelas intervenções humana na busca das 'madeiras de lei'.

A vegetação original encontra-se totalmente modificada, cedendo lugar às matas semidevastadas e às formações secundárias arbustivas das terras de cultivo abandonadas.

Conforme pode ser verificado na "Planta Fitogeográfica" elaborada por KLEIN em 1962, apresentando o revestimento florístico do ano de 1952, característica principal da área era o intenso reflorestamento de bracatinga (*Mimosa scabrella*), que cobria a maior parte de Fervida, seguido de capoeira e capoeirão e por último dos remanescentes da Floresta original.

3.7 CARACTERIZAÇÃO HIDROGRÁFICA E HIDROGEOLÓGICA.

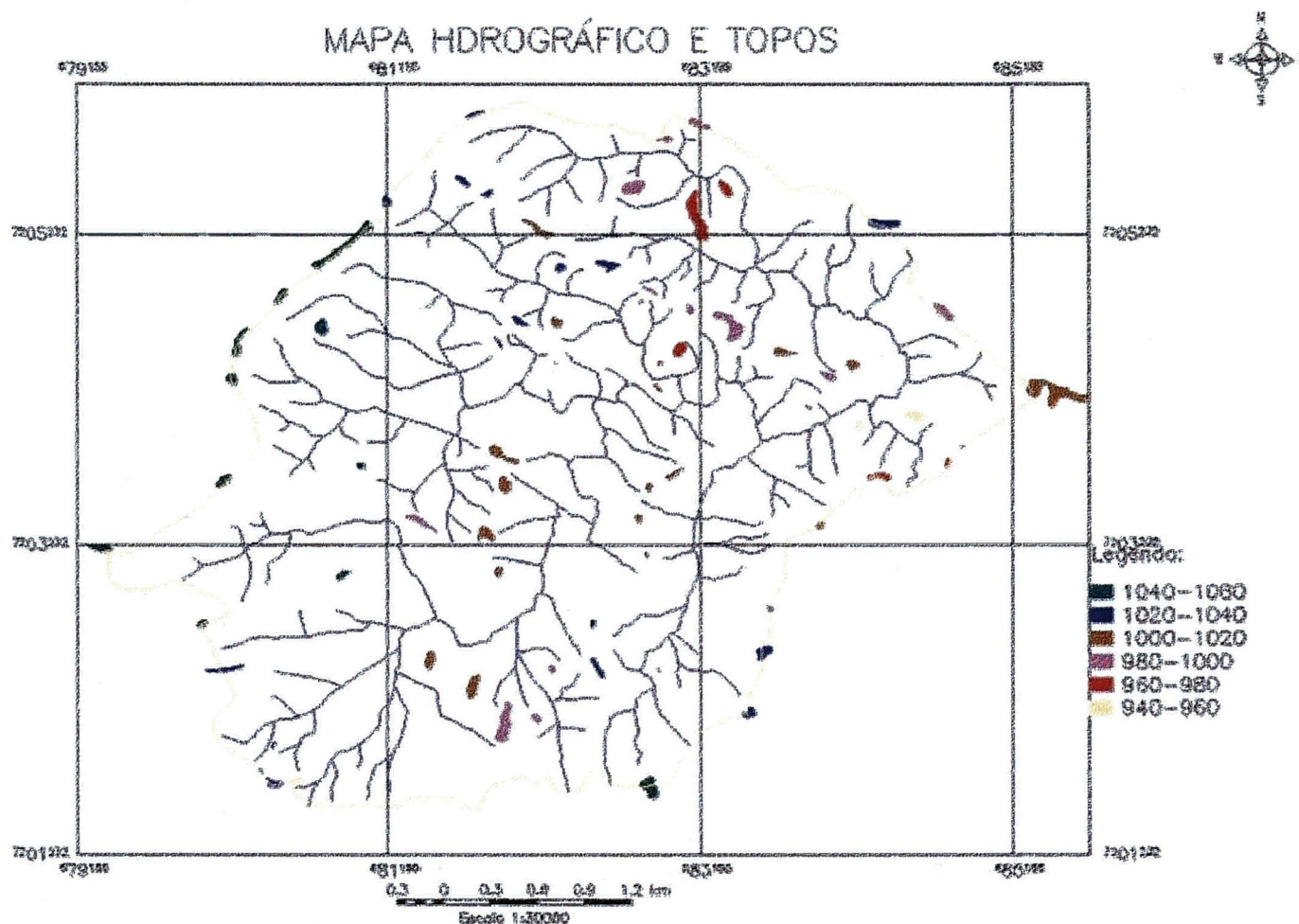
De acordo a FRITZSONS (1999), as microbacias de Fervida e Ribeirão das Onças localizam-se nas cabeceiras do Rio Capivari que faz parte da grande bacia litorânea do Ribeira. A oeste a ao sul destas microbacias localizam-se os limites que constituem os divisores de águas das grandes bacias do Ribeira e do Iguaçu. As microbacias pertencem à bacia do Ribeirão, afluente do Rio Capivari, na região do Alto Ribeira.

A microbacia de Fervida apresenta dois importantes cursos d'água: Rio Papanduva, que é o mais significativo e em seu curso recebe águas de outras nascentes até encontrar o Rio da Fervida, o qual também é formado por várias nascentes. Na figura 9, podem ser encontrados os principais corpos hídricos da bacia hidrográfica em estudo. A microbacia do Rio Fervida é contígua a do Ribeirão das Onças, sendo esta última uma sub-bacia da primeira. A divisão das duas bacias se produz ao longo de um espigão correspondente a um dique de diabásio de direção NW-SE.

O padrão de drenagem reflete a estrutura geológica local. Sobre as rochas carbonáticas (mármore dolomíticos e calcíticos), a densidade de drenagem

superficial é de moderada a baixa, sendo os rios em sua maioria secundários, longos e com trechos retilíneos apresentando poucos afluentes. Já nas rochas filíticas e quartzíticas a rede de drenagem é densa e dendrítica, com cursos irregulares. Isto ocorre pelo fato dessas rochas serem pouco permeáveis, facilitando o escoamento

superficial. Em alguns trechos ocorre a interceptação dos cursos superficiais, por dolinas ou sumidouros, adquirindo-se caráter subterrâneo (SILVA, 2001).



Além da drenagem superficial, a região abriga parte do aquífero subterrâneo cárstico, considerado como um manancial de abastecimento.

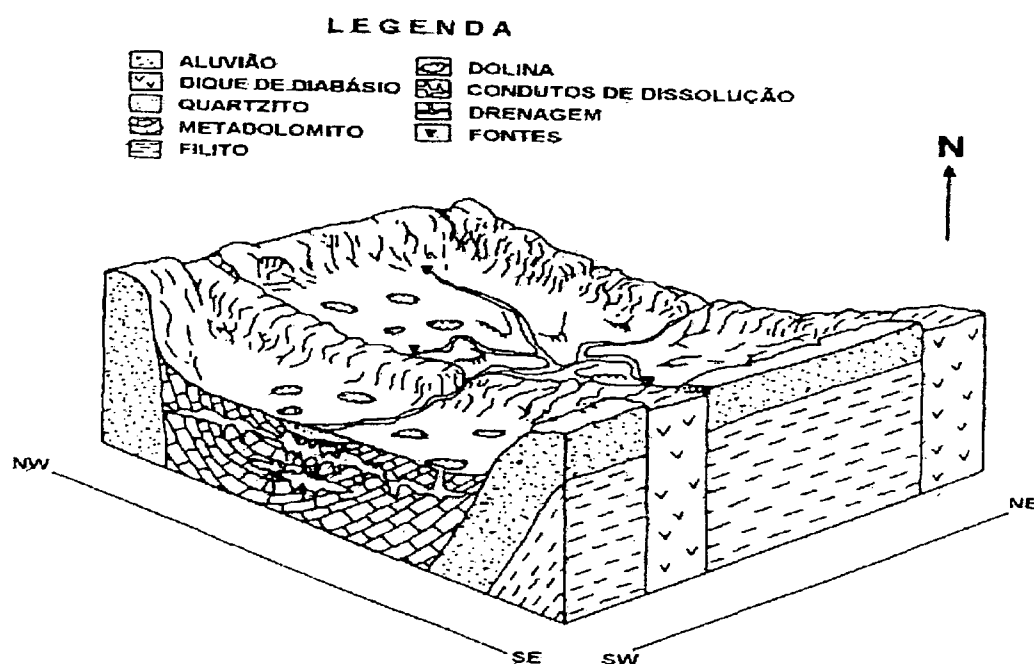
Do ponto de vista hidrogeológico, o aquífero cárstico é classificado como de tipo secundário, onde o armazenamento e fluxo do manancial são efetivados na macroporosidade, decorrente da dissolução da massa carbonática ao longo dos seus planos de faturamento. Do ponto de vista hidráulico, pode apresentar caráter

livre ou confinado, dependendo do posicionamento do pacote aquífero em relação ao pacote impermeável (COMEC, 1997).

Em termos hidrogeológicos, de acordo ao autor supracitado, o contexto morfoestrutural acima delineado, condiciona uma compartimentação onde verificam-se massas carbonáticas (Mármore calcíticos e dolomíticos) com excelentes condições de porosidade e permeabilidade, limitadas por fronteiras praticamente impermeáveis (cristas de filito e quartzitos de direção NE entrecortadas por diques de diabásio de direção NW), com padrão geométrico tipicamente losangular, constituindo cada losângulo uma unidade com características similares as demais, porém com comportamento independente. O arcabouço hidrogeológico assim formado, em termos figurativos, seria semelhante à uma série de “tanques” interligados entre si por vertedouros de topo, correspondendo estes à drenagens de superfície (LISBOA e BONACIM, 1995).

A partir do desenho esquemático da figura 10 confeccionado pelos autores acima citados, o arranjo estrutural do compartimento hidrogeológico pode ser mais bem entendido e interpretado.

FIGURA 10 - MODELO ESQUEMÁTICO DOS COMPARTIMENTOS ESTRUTURAIS DO CARSTE LIMITADO PELOS QUARTZITOS/FILITOS NA DIREÇÃO NE-NW E DIQUES DE DIABÁSIO NA DIREÇÃO NW-SE (LISBOA E BONACIM, 1995).



FONTE: LISBOA E BONACIM (1995).

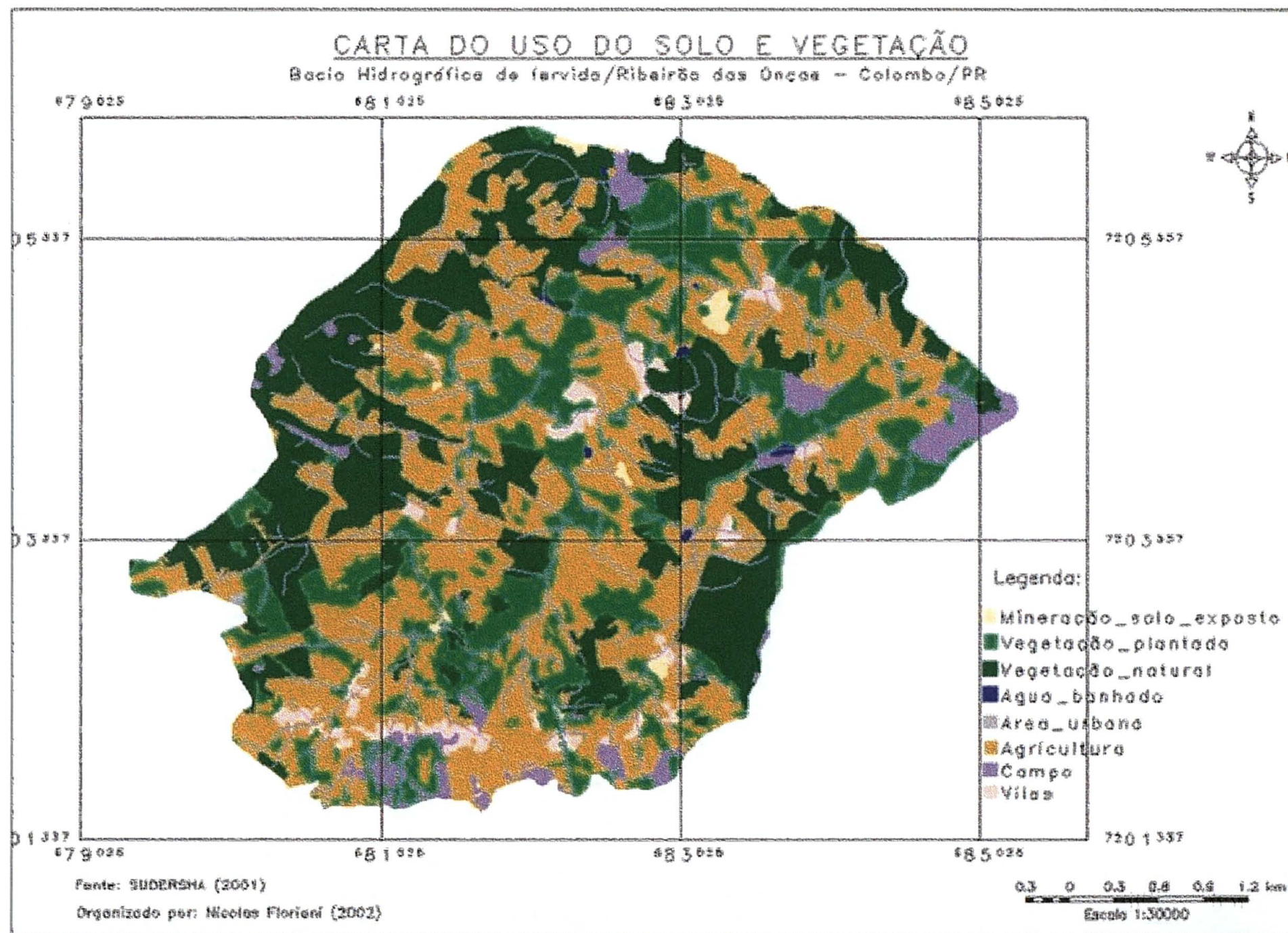
3.8 USO ATUAL DAS TERRAS E COBERTURA VEGETAL.

De acordo a KLEIN (1962), a agricultura regional da década de 1950 estava representada nas culturas de milho e feijão. O solo quando esgotado seu potencial produtivo era então abandonado e o agricultor avançava para as matas vizinhas ou então para capoeiras mais velhas. A terra abandonada a pousio prolongado durante várias décadas ia sendo então ocupada por sucessões florestais típicas da Floresta Ombrófila Mista, tendo no gênero *Bacharis* o lenhoso dominante nos primeiros estágios.

Atualmente, a atividade florestal consiste de reflorestamento com bracatinga, muitos deles subespontâneos além de pequenas áreas com plantio de pinus e eucaliptos. Nos bosques secundários predomina o extrativismo seletivo de lenha e madeira. A bracatinga integra-se ao sistema agrícola de rotação de terras e pode ocorrer em diversos estágios de desenvolvimento. Na área de estudo é utilizada para combustão nos fornos de calcário e madeira para arrimos em obras de construções. Outras áreas do carste apresentam também reflorestamentos atuais com erva-mate (*Ilex paraguariensis*) (FRITZSON, 1999).

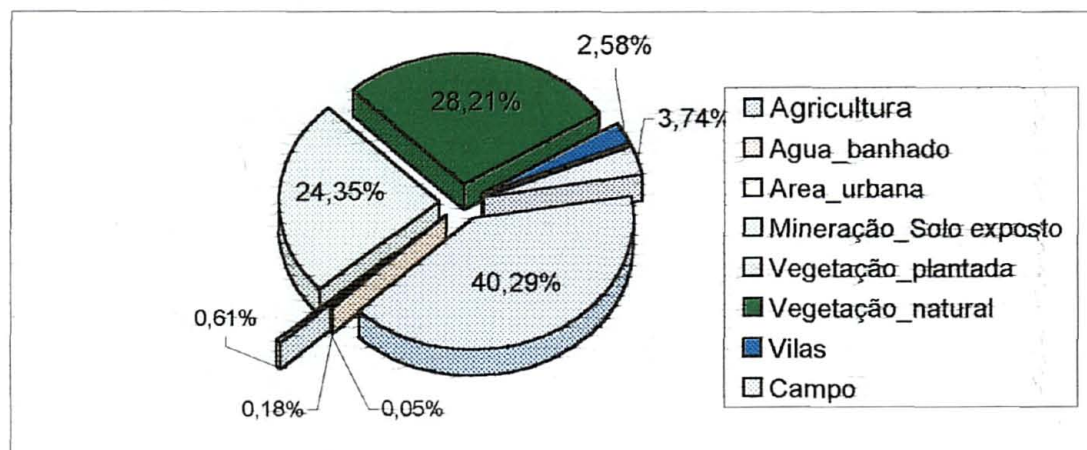
Da cena obtida através da classificação supervisionada da imagem orbital LANDSAT 5, composição colorida 5R, 4G, 3B com 30 metros de resolução, do ano de 2001, a SUDERSHA (2001) extraíu oito assinaturas: Área de Agricultura (Horticultura e Cereais), Vegetação Natural (Áreas Florestais), Vegetação Plantada (Bracatinga e Pinus), Campo (Natural e Pastagens), Área Urbana, Vilas, Água/Banhado.

A Área de Agricultura representou a maior classe de uso do solo da microbacia, com aproximadamente 40,29% da área total, o equivalente a 647,55 ha; a área de Vegetação Natural representou 28,21%, ou seja, 453,43 ha; a área de Vegetação Plantada ficou em terceiro lugar com 24,35% da área total, ou 391,35 ha. Os Campos Naturais e Pastagens 3,74%, ou 60,11 ha; a classe Vila possui 2,58% da área com 41,44 ha; Mineração e Solo Exposto ficaram com 0,61% da área, 9,79 ha; a classe Água e Banhados ficou com 0,18% da área, ou seja, 2,84 ha; e, finalizando, a classe da Área Urbana ficou com 0,05%, ou 0,78 ha.



A Carta de Uso Atual das Terras e Cobertura Vegetal bem como as porcentagens das classes de uso atual das terras e cobertura vegetal podem ser visualizadas na figura 10 e no gráfico 4.

GRÁFICO 4 - PORCENTAGEM DAS CLASSES DE COBERTURA VEGETAL E USO DAS TERRAS DA BHC/FR.



A zona agrícola da BHC/RF é classificada pela EMATER (1995) como pertencente à ZONA AGRÍCOLA 3 (ZA3), ou seja, de agricultura com alto uso de insumos – onde se instalou uma agricultura capitalizada, com uso intenso de insumos agrícolas e intensa mecanização dos solos. Os sistemas de produção desta zona são formados pela olericultura (tomate, couve-flor, alface, pepino, beterraba, etc.), fumo (em fase de extinção), milho/feijão, bovino de leite e avicultura. Sistemas de irrigação são comumente utilizados na área da BHC/FR. E apesar de haver pequenas áreas de pastagem na área, a quantidade de animais é limitada sendo voltada para o uso e consumo próprios.

No anexo 3 podem ser visualizadas glebas da BHC/FR, o tipo de cultivo, o sistema de irrigação e o preparo do solo, no qual ficam expostos os horizontes e o sentido dos sulcos moldados pela gradagem.

Recentemente, começaram a surgir formas alternativas de produção, destacando-se na esfera das organizações não governamentais, as iniciativas da Associação dos Agricultores Orgânicos do Paraná – AOPA e da Associação dos Produtores Agrícolas de Colombo – APAC, que com o apoio de instituições públicas tratam de imprimir novas formas de exploração dos recursos segundo princípios

biológicos que procuram reduzir ou substituir insumos químicos, proteger o meio ambiente e a saúde e reforçar as interações biológicas e físicas nos agroecossistemas (ALMEIDA, 2001).

No tocante à mecanização dos solos, na olericultura é comum o uso da enxada rotativa. Tecnicamente, a enxada rotativa²¹ é a forma de preparo menos recomendada devido à intensa movimentação do solo. No entanto, de acordo a DAROLT (2000), esse implemento é largamente utilizado por pequenos agricultores e empresários agrícolas. Com base em dados de pesquisa, o autor destaca o percentual médio de agricultores orgânicos e em fase de transição que utilizam a enxada rotativa, bem como outros implementos para o preparo do solo na ZA3 (Tabela 1).

Cabe lembrar que estes dados referem-se à ZA3, na qual situa-se a maioria dos agricultores orgânicos e as demais categorias acima assinaladas.

Para o autor, apenas 26,3% dos agricultores do universo entrevistado utilizam o arado de tração animal que seria uma das técnicas recomendadas de acordo com as normas de produção orgânica. Basicamente, são os agricultores em transição que utilizam a tração animal em cerca de 38% das unidades.

TABELA 1- PERCENTUAL MÉDIO DE AGRICULTORES SEGUNDO AS FORMAS DE PREPARO DO SOLO NAS UNIDADES DE PRODUÇÃO ORGÂNICAS DA RMC.

PREPARO DE SOLO UTILIZADO	TIPOS DE AGRICULTORES				MÉDIA TOTAL No.=57
	AFT No.=32	AFO No.=20	EA0 No.=03	EAT No.=02	
Aração tração mecânica	59,3	50,0	67,0	100	59,8
Enxada rotativa	31,0	85,0	67,0	0	50,8
Aração tração animal	38,0	6,0	0	0	26,3
Aração manual	12,5	6,0	0	0	8,7
Escarificador	9,5	10,0	33,0	0	8,7
Plantio Direto	3,0	0	0	0	3,5

FONTE: DAROLT (2000).

²¹ Na horticultura orgânica o uso da enxada rotativa deve ser limitado aos cultivos que necessitam de canteiros. Quando são plantadas espécies de espaçamentos maiores, por exemplo couve-flor, o ideal é que sejam usados equipamentos como o riscador ou sulcador, ou ainda a enxada com 2 jogos de faca, cultivando apenas a linha de plantio (EMATER, 2000).

NOTA: AFT = agricultores familiares em transição²²; AFO = agricultores familiares orgânicos; EAO = empresários agrícolas orgânicos; EAT = empresários agrícolas em transição.

De acordo com a SANEPAR (2001), Colombo conta com aproximadamente 900 produtores e é o principal produtor olerícola do mercado metropolitano. Destaca-se como primeiro produtor regional em 20 produtos e o segundo em 7. Caracteriza-se por uma especialização mais clara em couve-flor que representa 54% do valor de sua pauta de olerícola, seguida por alface (8%), tomate (7%) e chuchu (6,9%).

Nesse contexto, a comunidade de Fervida se distingue como a mais importante estrutura produtiva de olerícolas do município. Com aproximadamente 93 produtores de um total de 900, sem dúvida produz uma parcela proporcionalmente mais elevada. A capacidade produtiva desta comunidade se realiza nas melhores terras e em bases intensivas de uso de água e insumos industriais. Como são parcelas de pequena dimensão e com mais de um século de exploração, o uso da terra ocupa o máximo da área disponível avançando sobre boa parte da mata ciliar e de algumas encostas. Fervida e seu entorno imediato ocupam uma área de 1.073ha, subdividida em 270 parcelas, representando uma área média de 4 há por parcela. Fervida especificamente corresponde aproximadamente com 476ha, com um total de 93 parcelas e uma área média de 5ha.

Quanto às áreas cultivadas na BHC/FR, a EMATER (1998) realizou a coleta e posterior análise de solos em 13 locais. O resultado revelou que os solos, na maioria ácidos, e de baixa fertilidade natural, são transformados pelos agricultores em solos de boa fertilidade pela utilização de calcário dolomítico e fertilizantes orgânicos e sintéticos em grande quantidade. A análise destes solos evidenciou teores de matéria orgânica variando de aproximadamente 3,2 a 6,6%, valores estes altos para os solos cultivados no primeiro planalto.

²² Os agricultores familiares em transição são uma categoria definida pelos órgãos certificadores de produção orgânica, caracterizada por um período de adequação da produção às normas técnicas produtivas e aos demais princípios sócio-econômicos da agricultura sustentável agroecológica. Alguns órgãos certificadores estipulam um tempo de 3 a 5 anos para a conversão do sistema convencional ao orgânico, mais isso depende do histórico produtivo da propriedade. Para ELHERS (1999), a agricultura sustentável deve possuir as seguintes características: 1ª) Manutenção a longo prazo dos recursos naturais e produtividade agrícola; 2ª) Mínimo de impactos ao ambiente; 3ª) Retorno adequado aos produtores; 4ª) Otimização da Produção com um mínimo de insumos externos; 5ª) Atendimento das necessidades sociais das famílias e das comunidades rurais.

4. METODOLOGIA

4.1. DETERMINAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL.

A análise empírica da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica de Ferveda e Ribeirão das Onças está baseada na metodologia de mapeamento da fragilidade ambiental de ROSS (1994). A metodologia foi estruturada conforme o fluxograma da Figura 13 da página 76.

A primeira etapa da metodologia consiste no levantamento da base cartográfica (mapas de planialtimetria, pedologia, geologia e uso da terra); na produção de dados primários (mapas de declividade e geomorfologia); e referências bibliográficas.

A segunda etapa metodológica consiste na correlação de todas as informações acima geradas. Para tanto, efetuou-se um sistema de ponderação para cada elemento geossistêmico. Um sistema de ponderação é efetuado na metodologia original de mapeamento da fragilidade ambiental (ROSS, 1994) e outro na metodologia alternativa proposta.

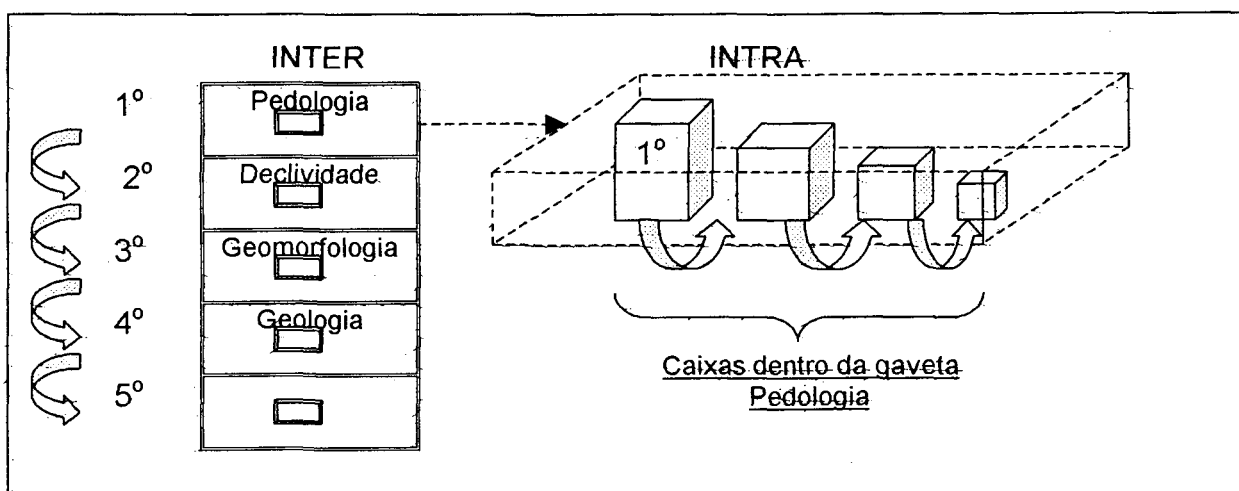
Assim, conforme o item '*Ponderação Intra e Inter Elementos Geossistêmicos*' do fluxograma da figura 6, pode-se visualizar os dois tipos de ponderação: Modelo ROSS (1994) e Modelo Alternativo Proposto neste trabalho.

Para exemplificar os sistemas de ponderação dos elementos geossistêmicos, é sugerida uma comparação do geossistema com um armário de gavetas dispostas umas em cima das outras. Os temas (pedologia, declividade, geomorfologia e geologia) são as gavetas nas quais estão guardadas algumas caixas (as classes de cada tema), cada qual com seu tamanho. A partir de então, serão atribuídos valores a cada caixa dentro de cada gaveta. Posteriormente, esta gaveta irá preencher um determinado vão do armário. No caso da "gaveta" pedologia, as caixas no seu interior irão ganhar uma numeração (pesos). A esta operação chamar-se-á de ponderação Intra-elemento. Após a numeração das caixas, a gaveta deverá preencher o vão do armário de onde saiu, podendo preencher outro vão que não propriamente o dela. A esta outra operação será dado o nome de "ponderação

Interelementos” do geossistema que responde a uma ordenação segundo uma hierarquia a ser determinada pelo usuário do armário.

A Figura 12 esboça a comparação das operações de ponderação Inter e Intra elementos com um armário cujas gavetas contém caixas com diversas numerações.

FIGURA 12. ESBOÇO ESQUEMÁTICO MOSTRANDO A DINÂMICA DA PONDERAÇÃO INTRA E INTER ELEMENTOS GEOSSISTÊMICOS.



Na metodologia de ROSS (1994) os espaços são fixos e pré-determinados (cada um no seu lugar), ou seja, nela são atribuídos pesos dentro de cada elemento conforme a valoração das classes pedológicas, geológicas, etc. Os valores entre (**Inter**) os elementos geossistêmicos recebem o mesmo valor, ou seja, o tema pedologia recebe o mesmo peso que geomorfologia, declividade e geologia.

Na metodologia alternativa sugerida neste trabalho as caixas ganham outros valores e os espaços ocupados pelas gavetas são intercambiáveis, ou seja, serão atribuídos pesos diferenciados para as classes dentro de cada elemento e pesos diferenciados para os elementos. Neste trabalho os solos recebem maior peso, depois declividade, geomorfologia e geologia. A valoração é apoiada estatisticamente pela técnica do processo analítico hierárquico – *Analytical Hierarchy Process* (AHP), disponível no software SPRING 3.6.03 (INPE, 2000).

Após a ponderação dos temas cartográficos procedeu-se ao cruzamento dos mesmos. No caso da metodologia original utilizou-se a lógica booleana para o

cruzamento das 4 (quatro) cartas (pedologia, declividade, geomorfologia e geologia) resultando na Carta de Fragilidade Potencial 1 (CFP1).

Na metodologia alternativa proposta foram utilizadas além da lógica booleana para o cruzamento dos temas cartográficos - o que resultou na geração da Carta de Fragilidade Potencial 2 (CFP2) - a lógica *fuzzy* Ponderado responsável pela geração das duas últimas cartas de fragilidade potencial (CFP3 e CFP4).

A última etapa metodológica compreende o cruzamento das cartas de fragilidade potencial geradas nas etapas anteriores com a carta de uso das terras previamente ponderada conforme os critérios sugeridos por ROSS (1994). Desse cruzamento (por meio da lógica booleana) resultou quatro Cartas de Fragilidade Emergente, sínteses das fragilidades potenciais do meio natural frente aos tipos de uso das terras caracterizando a vulnerabilidade do geossistema.

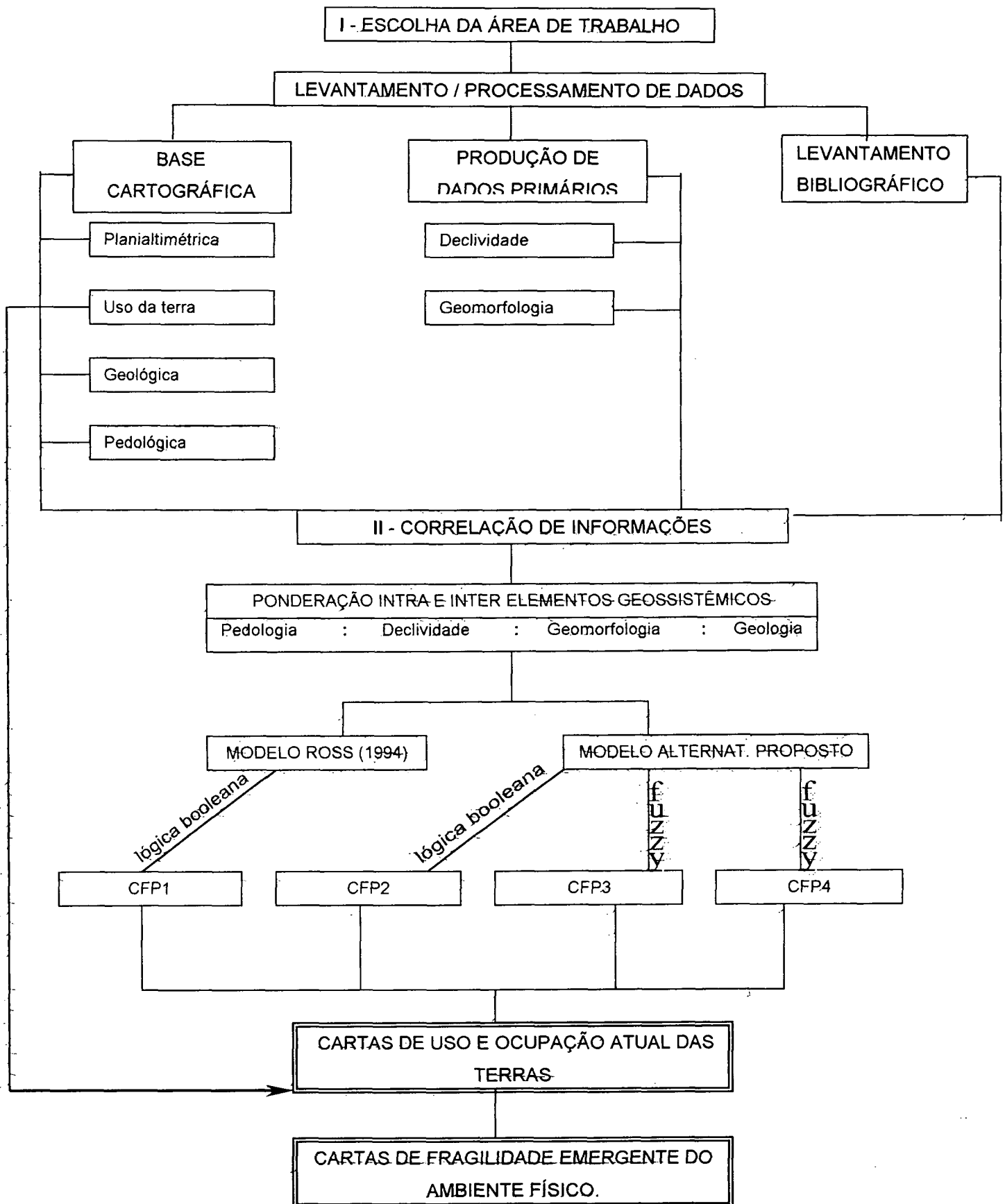
O mapeamento foi realizado preferencialmente em meio digital, onde foram usados como base os mapas temáticos já existentes, desde que em escala compatível. Os mapas temáticos foram digitalizados em sistema de informações geográficas utilizando-se o *software* SPRING (Sistema para Processamento de Informação Geográficas) 3.6.03, uma ferramenta desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais a partir de 1991, para ambientes UNIX e MS/Windows. O SPRING unifica o tratamento de imagens de Sensoriamento Remoto (ópticas e microondas), mapas temáticos, redes e modelos numéricos de terreno. A partir de 1997, o SPRING passou a ser distribuído via Internet.

Foi escolhida para representação cartográfica a escala de 1:10.000, sendo executados nesta escala os mapeamentos primários realizados na área de pesquisa.

4.1.1 Geração das Cartas de Fragilidade Potencial.

A fragilidade potencial é obtida através do cruzamento das cartas temáticas de geomorfologia, pedologia, declividade e geologia. Para tanto, foram testados dois tipos de metodologias: uma utilizando o método booleano (com ponderação hierarquizada **Intra**-elementos) e outro a análise AHP de Suporte à decisão (com ponderação hierarquizada **Interelementos**).

FIGURA 13 - FLUXOGRAMA DAS ATIVIDADES E PRODUTOS SOBRE A FRAGILIDADE AMBIENTAL.



4.1.2 Ponderação Intra-elementos segundo o modelo ROSS (1994).

Conforme o fluxograma da Figura 13, a metodologia apresenta duas vias para a ponderação das categorias de cada elemento: uma considera os pesos sugeridos por Ross (1994) e outra considera os pesos sugeridos no presente trabalho (metodologia alternativa proposta) com base em pesquisa bibliográfica.

O sistema de ponderação das categorias temáticas segundo os critérios de ROSS (1994) está descrito a seguir e o seu resumo sintetizado no Quadro 6 ao final deste subcapítulo.

4.1.2.1 Geração da Carta Geológica e Valoração das Classes.

Após a digitalização da carta geológica - resultado do levantamento realizado pela COMEC/MINEROPAR (1995) - em ambiente SPRING 3.6.03 procedeu-se à valoração das classes litológicas baseada em diversos autores (TEODOROVICZ *et al*, 1994; FIORI, 1995; LISBOA, 1997; FRITZSON, 1999).

As classes de fragilidade da geologia ao intemperismo foram agrupadas conforme a TABELA 2.

TABELA 2 – FRAGILIDADE DAS CLASSES GEOLÓGICAS.

<i>Classes de Fragilidade</i>	<i>Classes geológicas</i>
1- Muito baixa	Quartzitos e metapelitos.
2- Baixa	Diques de Diabásio.
3- Média	Metadolomitos.
5- Muito Alta	Sedimentos detríticos.

4.1.2.2 Geração da Carta de Geomorfologia e Valoração das Classes.

Esta carta procura apresentar as formas do relevo, seguindo a proposta taxonômica de Ross (1992), valorizando-se os 5º. e 6º. táxons, onde a morfologia e a morfometria das formas do relevo estão em evidência.

Utilizando-se modelos computacionais do terreno, fotografias aéreas na escala de 1:25.000 e a carta planialtimétrica na escala de 1:10.000 mapearam-se os segmentos de vertentes em função da morfologia: as planícies fluviais; vertentes convexas, vertentes retilíneas e vertentes côncavas.

Tais segmentos diferenciados do relevo foram comparados ao mapeamento realizado por TEODOROVICZ et al (1994) em escala 1:100.000, que destacou os seguintes padrões de relevo: as planícies aluvionares muito estreitas, morros altos estreitos e alongados de encostas convexas e convexo-retilíneas curtas, morros e colinas baixos de encostas do tipo convexas longas e côncavo-convexas curtas.

Uma hierarquização morfodinâmica das vertentes (da menos a mais instável) foi estabelecida seguindo-se parâmetros destacados em pesquisas realizadas por ROSS (1996a): topos e patamares aplanados receberam peso 1 (fraca instabilidade morfodinâmica), patamares em rampa peso 2 (média instabilidade morfodinâmica), topos convexizados e vertentes côncavo-convexas peso 3 (forte instabilidade morfodinâmica), e vertentes retilíneas peso 4 (muito forte instabilidade morfodinâmica) (ROSS, 1996a).

Por outro lado, as vertentes côncavas com declividade acima de 30%, as vertentes convexas com declividade acima de 45% e as planícies de fundo de vales receberam peso de instabilidade Muito Alto; as vertentes convexas (com declividade entre 30 e 45%) receberam peso de instabilidade Alto; e os topos convexizados e os patamares com topos convexas com declividades entre 10 e 30% receberam peso de instabilidade Médio (ROSS, 1996b).

Assim, com base nas informações acima, foi estabelecida uma hierarquização da fragilidade para as vertentes destacadas no mapeamento geomorfológico da bacia em estudo conforme a TABELA 3.

TABELA 3 - FRAGILIDADE DAS CLASSES GEOMORFOLÓGICAS.

<i>Classes de Fragilidade</i>	<i>Classes geomorfológicas</i>
3- Média	Encostas convexas longas e côncavo-convexas curtas em colinas e morros baixos (R2).
4- Alta	Encostas convexas e convexo-retilíneas curtas em morros médios a altos, estreitos, bastante alongados (R3).
5- Muito Alta	Planícies aluviais estreitas (R1).

4.1.2.3 Geração da Carta de Solos e Valoração das Classes.

Após a digitalização da carta de solos - resultado do levantamento realizado pela EMATER (1997) - em ambiente SPRING 3.6.03 procedeu-se à valoração das classes de solos seguindo a sugestão de ROSS (1994), que relaciona as classes de fragilidade ou de erodibilidade dos solos, considerando o escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais, conforme a tabela 4.

TABELA 4 – FRAGILIDADE DAS CLASSES DE SOLO.

<i>Classes de Fragilidade</i>	<i>Tipos de Solos</i>
1- Muito baixa	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro e Vermelho-Amarelo textura argilosa.
2- Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho-Amarelo textura média/argilosa.
3- Média	Latossolo Vermelho-Amarelo, Terra Roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa.
4- Alta	Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/arenosa e Cambissolos.
5- Muito alta	Podzolizados com cascalhos, Litólicos, Areias Quartzozas e hidromórficos.

Fonte: ROSS (1994).

4.1.2.4 Geração da Carta de Declividade e Valoração das Classes.

A carta de declividade foi gerada no SPRING 3.6.03, tendo como base a digitalização das cartas topográficas SG-22-X-D-I (4-NO-A e B) COMEC (1976), em escala 1:10.000 com equidistância de 5m. A partir da digitalização das curvas de nível foi gerada a grade triangular (TIN), base para a geração da declividade.

FIGURA 14

CARTA DE DECLIVIDADE

Bacia Hidrográfica Da Fervida e Ribeirão das Onças – Colombo/PR.

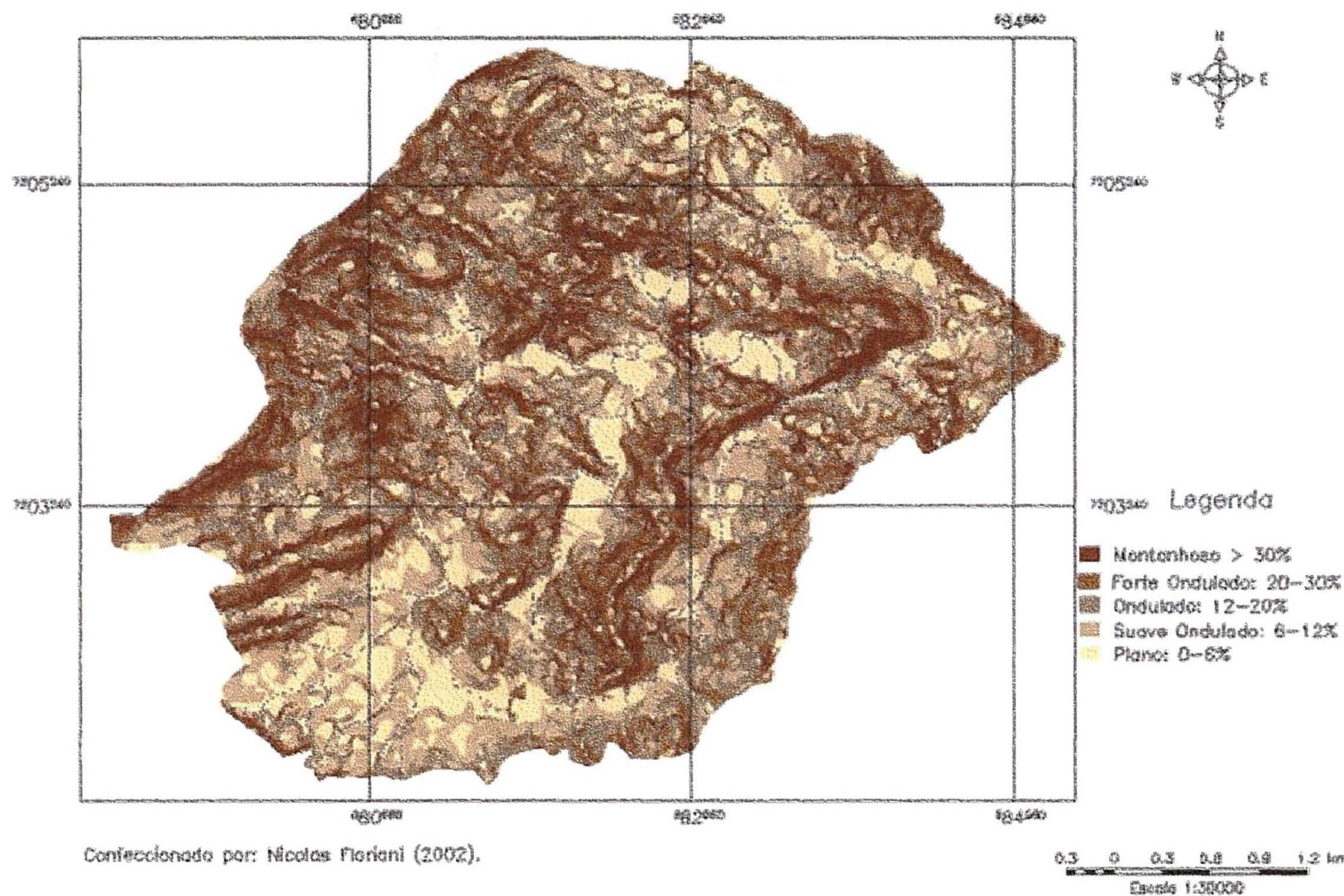
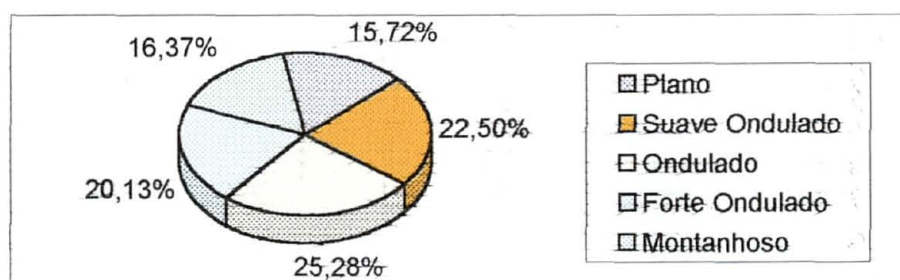


GRÁFICO 5 – PORCENTAGEM DAS CLASSES DE DECLIVIDADE.



Na metodologia sugerida por ROSS (1994), as classes de declividade bem como suas respectivas classes de fragilidade são descritas conforme a Tabela 5.

TABELA 5 - CLASSES DE FRAGILIDADE PARA AS DECLIVIDADES (ROSS, 1994).

<i>Classes de Fragilidade</i>	<i>Classes de Declividade</i>	<i>Áreas (ha)</i>
1- Muito baixa	Até 6%	253.21
2- Baixa	De 6 a 12%	362.38
3- Média	De 12 a 20%	407.24
4- Alta	De 20 a 30%	324.22
5- Muito alta	Acima de 30%	263.75
Total		1610.80

4.1.2.5 Geração da Carta de Uso do Solo e Valoração das Classes.

Após a digitalização da carta de cobertura vegetal e uso atual das terras resultado do levantamento realizado pela SUDERSHA (2001) - em ambiente SPRING 3.6.03 - procedeu-se à valoração das classes seguindo a sugestão de Ross (1994), que com base em inúmeros trabalhos, propõe uma hierarquia de graus de proteção aos solos pela cobertura vegetal, em ordem decrescente da capacidade de proteção, conforme mostra a Tabela 6.

TABELA 6 – GRAU DE PROTEÇÃO DOS TIPOS DE COBERTURA VEGETAL.

Graus de Proteção	Tipos de Cobertura Vegetal
1- Muito Alta	Florestas/ Matas naturais, Florestas cultivadas com biodiversidade.
2- Alta	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso. Formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa). Mata homogênea de Pinus densa. Pastagens cultivadas sem pisoteio de gado. Cultivo de ciclo longo de cacau.
3- Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/ terraceamento como café, laranja com forrageiras entre ruas. Pastagens com baixo pisoteio. Silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas.
4- Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta-do-reino, laranja) com solo exposto entre ruas, culturas de ciclo curto (arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão) com cultivo em curvas de nível/ terraceamento.
5- Muito Baixa a Nula	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplenagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Fonte: ROSS (1994).

O resumo da Ponderação Intra-elementos (valoração das categorias temáticas) adotadas por ROSS (1994) encontra-se no quadro 4.

QUADRO 4 – RESUMO DA PONDERAÇÃO E DISPOSIÇÃO HIERARQUICA DOS ELEMENTOS SEGUNDO ROSS (1994).

		Elementos			
		Pedologia	Declividade	Geomorfologia	Geologia
Pesos Sugeridos	1 (Muito Baixa)	--	P	--	Qua
	2 (Baixa)	--	S.O.	--	Pel
	3 (Média)	TBRE	O	R2	Diq*
	4 (Alta)	Cd e Ca	F.O.	R3	Dol
	5 (Muito Alta)	R e Hg	M	R1	Alu

NOTA: TBRE = Terra Bruna Roxa estruturada; Ca = Cambissolo latossólico; Cd = Cambissolos; R = Litólicos; Hg = hidromórficos; P = Plano; S.O. = Suave Ondulado; O = Ondulado; F.O. = Forte Ondulado; M = Montanhoso; R1 = Planícies Aluviais; R2 = encostas convexas longas e côncava-convexas curtas; R3 = com encostas convexas e convexo-retilíneas curtas; Qua = quartzitos; Pe = Metapelitos; Diq = Diques de diabásio; Dol = Metadolomitos; Alu = Aluviões.

A ponderação das classes geológicas é sugerida neste trabalho pelo autor, baseada em pesquisa bibliográfica²³ (TEODOROVICZ *et al*, 1994; FIORI, 1995; LISBOA, 1997; FRITZSON, 1999), não estando vinculada diretamente à metodologia de Ross.

4.1.3 PONDERAÇÃO INTRA-ELEMENTOS SEGUNDO O MODELO ALTERNATIVO PROPOSTO.

A ponderação alternativa das categorias de cada elemento geossistêmico baseia-se em um referencial teórico-conceitual exposto em capítulos anteriores encontrando-se resumida no QUADRO 5.

As diferenças entre as duas ponderações (a primeira de acordo a Ross e outra proposta neste trabalho) são resultantes da migração das categorias Ca para uma classe de fragilidade menor (3): os Cambissolos latossólicos são reavaliados (EMBRAPA, 1984; OLIVEIRA, JACOMINE e CAMARGO, 1992; MEDEIROS, 1994; EMBRAPA, 1997) e igualados às Terras Brunas Roxas Estruturadas, embora pudessem ser valorados como solos de menor grau de susceptibilidade à erosão, pois não possuem as características morfológicas como o Horizonte B textural (ou B nítico conforme o novo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos) e relevo ondulado que grandemente influenciam no potencial erosivo das Terras Brunas Roxas Estruturadas.

As categorias geomorfológicas R2 (encostas convexas longas e côncavo-convexas curtas em colinas e morros baixos) e R3 (encostas convexas e convexo-retilíneas curtas em morros médios a altos, estreitos, bastante alongados) também

²³ Aqui há uma controvérsia quanto à vulnerabilidade litológica dos diabásios. De acordo a FOSTER (1988) e TEODOROVICZ (1998), pelo fato de se definirem como zonas de cisalhamento rúptil, os diabásios apresentam o substrato rochoso extremamente fraturado e com muitas descontinuidades estruturais. Em função disso, são naturalmente muito susceptíveis a movimentos naturais de massa e também muito percolativas (infiltração rápida de fluidos para o subsolo). Sendo assim, a baixa vulnerabilidade é dada mais pela existência de um horizonte B textural que propriamente pelas características do diabásio. Contudo, quando analisada esta característica conjuntamente com o uso inadequado do solo (p.e. uso inadequado de implementos agrícolas no preparo do solo) a vulnerabilidade destas áreas pode vir a tomar outro extremo, ou seja, em uma classe altamente vulnerável, como veremos mais adiante.

passaram para classes menores, baseado em conceitos de PENTEADO (1974) - que afirma que a massa sólida em movimento, no perfil convexo é representada pelo rastejamento do solo e escoamento difuso, muito lento, sob efeito da gravidade; ao passo que nas encostas intermediárias retas a erosão é muito rápida - e TEODOROVICZ et al (1994) que caracteriza aqueles relevos como de moderada fragilidade ao uso agrícola (desde que usadas medidas de controle à erosão) em função da boa qualidade do solo e condições topográficas relativamente favoráveis.

QUADRO 5 - PESOS ADOTADOS E DISPOSIÇÃO HIERARQUICA DOS ELEMENTOS SEGUNDO MODELO ALTERNATIVO PROPOSTO.

		Categorias			
		Pedologia	Declividade	Geomorfologia	Geologia
Pesos Sugeridos	1 (Muito Baixa)	--	P	--	Qua
	2 (Baixa)	--	S.O.	R2	PeI
	3 (Média)	TBRE + Ca	O	R3	Diq
	4 (Alta)	Cd	F.O.	--	Dol
	5 (Muito Alta)	R e Hg	M	R1	Alu

NOTA: TBRE = Terra Bruna Roxa estruturada; Ca = Cambissolo latossólico; Cd = Cambissolos; R = Litólicos; Hg = hidromórficos; P = Plano; S.O. = Suave Ondulado; O = Ondulado; F.O. = forte Ondulado; M = Montanhoso; R1 = Planícies Aluviais; R2 = encostas convexas longas e côncavo-convexas curtas; R3 = encostas convexas e convexo-retilíneas curtas; Qua = quartzitos; Pe = Metapelitos; Diq = Diques de diabásio; Dol = Metadolomitos; Alu = Aluviões.

A partir da ponderação das categorias de cada elemento procede-se à Ponderação Inter-Elementos por meio do cruzamento dos planos de informação segundo a lógica booleana de combinação de valores (cujo resultado é expresso de forma binária '0' e '1') ou *fuzzy*, cujo resultado é expresso de forma contínua dentro do intervalo [0,1].

4.1.3.1 O Método Booleano de Cruzamento de Informações.

Para o cruzamento das categorias, segundo a lógica booleana, é utilizada a matriz básica N °1 (TABELA 7) que permite o cruzamento de um número ilimitado de temas mantendo a equivalência entre os mesmos; independente da ordem em que os cruzamentos são realizados (DOS SANTOS, 1997).

TABELA 7 – MATRIZ BÁSICA N °1 PARA O CRUZAMENTO DOS MAPAS TEMÁTICOS, CONSIDERANDO-SE O RESULTADO COMO PERTENCENTE A CLASSE MAIS ALTA.

<i>Classes de fragilidade</i>	<i>Muito baixa</i>	<i>Baixa</i>	<i>Média</i>	<i>Alta</i>	<i>Muito Alta</i>
Muito Baixa	1	2	3	4	5
Baixa	2	2	3	4	5
Média	3	3	3	4	5
Alta	4	4	4	4	5
Muito Alta	5	5	5	5	5

FONTE: DOS SANTOS (1997).

Assim, a partir desta matriz de cruzamento as classes temáticas serão cruzadas considerando-se os valores hierarquizados conforme o quadro 4 (pg 79).

Como exemplo do cruzamento entre as classes temáticas adotando-se a matriz básica N °1 temos: a classe pedológica TBRE de valor 3 (média fragilidade) quando entrecruzada (intercepção entre a coluna e a linha da matriz) como a classe de declividade F.O. de valor 4 (fragilidade alta), passa a resultar em uma nova classe de valor 4 ($3 \times 4 = 4$), pois considera como resultado do entrecruzamento o valor mais alto.

4.1.3.2 A técnica de classificação contínua de dados: Método *Fuzzy* Ponderado (AHP).

Com os planos de informação criados (campos contínuos com distribuição espacial *Fuzzy*), estes foram combinados segundo uma análise multi-critério definida através de operadores *Fuzzy* Ponderado (técnica AHP²⁴) que pondera todos os sub-critérios e critérios e calcula um valor de Razão de Consistência entre [0,1], com 0 indicando a completa consistência do processo de julgamento.

²⁴ A AHP requer a estruturação de um modelo hierárquico (o qual geralmente é composto por metas, critérios, sub-critérios e alternativas) e um processo de comparação pareada (por importância relativa, preferências ou probabilidade, entre dois critérios, com relação ao critério no nível superior). Com base na comparação, a AHP pondera todos os sub-critérios e calcula um valor de Razão de Consistência (RC) para o intervalo de [0,1], com 0 indicando a completa consistência do processo de julgamento (INPE, 2000).

Assim, a primeira etapa para a definição dos pesos foi elaborar uma relação de importância relativa entre as evidências esquematizada conforme a TABELA 8:

TABELA 8 - ESCALA DE VALORES AHP PARA COMPARAÇÃO PAREADA.

Intensidade de Importância	Definição e Explicação
1	Importância igual – os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada – um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial – um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada – um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema – a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos – possibilidade de compromissos adicionais.

FONTE: INPE (2000).

A partir do estabelecimento de critérios de comparação para cada combinação de fatores, é possível determinar um conjunto ótimo de pesos que podem ser utilizados para a combinação dos diferentes mapas.

Na prática, as categorias foram comparadas no aplicativo 'Suporte à Decisão (AHP)' dentro do sistema de informações geográficas SPRING 3.6.03 conforme a tabela 9, de modo a destacar o tema (critério neste caso) Pedologia frente aos demais:

TABELA 9. EXEMPLO DE PESOS E VALORES ADOTADOS NA COMPARAÇÃO PAREADA ENTRE CRITÉRIOS.

CRITÉRIO	VALOR	PESO	CRITÉRIO
Pedologia	5	Melhor que	Declividade
Pedologia	2	Um pouco Melhor que	Geomorfologia
Pedologia	2	Um Pouco Melhor que	Geologia
Declividade	3	Algo Melhor que	Geomorfologia
Declividade	8	Criticamente Melhor que	Geologia
Geomorfologia	3	Algo Melhor que	Geologia

A aplicação desta técnica permitiu a confecção das duas últimas cartas de fragilidade potencial, a CFP3 e a CFP4. Na CFP3, assim com na CFP4, foi atribuído um peso maior à pedologia (BERTRAND; 1971; CHORLEY, 1971; TRICART, 1974; CASSETI, 1991; RUELLAN e DOSSO; 1993).

4.1.4 Geração da Carta de Fragilidade Emergente.

O produto final da metodologia é representado pela 'Carta de Fragilidade Emergente do Ambiente Natural' que expressa a dominância da relação sociedade/natureza sobre os limites e fragilidades do meio natural que podem ser modificadas de forma extrema em função do uso das terras. A geração das cartas de fragilidade emergente do ambiente ao uso agrícola e ocupação urbana foram realizadas através do cruzamento das cartas de fragilidade potencial com a carta de uso e ocupação do solo.

Para tanto foram usados os pesos sugeridos por ROSS (1994) acrescidos aos das categorias da tipologia urbana²⁵, identificadas a partir do zoneamento contido no Plano Diretor do Município de Pinhais-PR de 1992, do qual utilizaram-se os critérios adotados por DOS SANTOS (1997) em sua pesquisa sobre a fragilidade ambiental da Bacia do Palmital, como pode ser observado na TABELA 10.

²⁵ Na área da Bacia Hidrográfica Cárstica de Fervida/Ribeirão das Onças foram identificadas duas tipologias urbanas: Zona Residencial Urbana 2 (ZRU-2) e Zona Residencial Urbana Especial (ZRU-E). A ZRU-2 caracteriza-se por ser áreas com predominância de habitações unifamiliares e coletivas destinadas a residência, comércio e serviços de bairro, média taxa de ocupação. A ZRU-E inclui áreas de habitação unifamiliar e pequenas chácaras, baixa infra-estrutura urbana instalada, baixa densidade de ocupação. Adaptando esses tipos urbanos à realidade da Bacia Hidrográfica de Fervida/Ribeirão das Onças, as classes ZRU-E e ZRU-2 foram identificadas como sendo respectivamente as classes Área Urbana e Vilas da carta de uso e ocupação do solo de 2001 gerado pela SUDERSA. A tais classes foram atribuídos, conforme DOS SANTOS (1997), os pesos 'Alta' e 'Baixa' fragilidade respectivamente. Assim, conforme as figuras a seguir, poderão ser visualizadas as cartas de fragilidade emergente do ambiente da Bacia Cárstica de Fervida/Ribeirão das Onças, bem como as estatísticas de suas áreas.

TABELA 10 – MATRIZ BÁSICA N °2 PARA CRUZAMENTO DOS MAPAS TEMÁTICOS, CONSIDERANDO-SE O RESULTADO COMO SENDO A MÉDIA DOS ELEMENTOS ANALISADOS.

<i>Classes de fragilidade</i>	<i>Muito baixa</i>	<i>Baixa</i>	<i>Média</i>	<i>Alta</i>	<i>Muito Alta</i>
Muito Baixa	1	1.5 ≈ 2	2	2.5 ≈ 3	3
Baixa	1.5 ≈ 2	2	2.5 ≈ 3	3	3.5 ≈ 4
Média	2	2.5 ≈ 3	3	3.5 ≈ 4	4
Alta	2.5 ≈ 3	3	3.5 ≈ 4	4	4.5 ≈ 5
Muito Alta	3	3.5 ≈ 4	4	4.5 ≈ 5	5

Nota: (≈) sentido do arredondamento dos valores fracionários.

Intervalos numéricos e suas classes: [1,0-1,5] = Muito Baixa; [1,5-2,5] = Baixa; [2,5-3,5] = Média; [3,5-4,5] = Alta; [4,5-5,0] = Muito Alta.

Os números fracionários resultantes da média entre duas classes foram arredondados para as classes de fragilidade mais altas. Ou seja, o valor de 1,5 passou a ser arredondado para uma classe acima, 2 (Baixa) e assim por diante.

A seguir, serão recapituladas as etapas da ponderação interelementos segundo a metodologia de mapeamento da fragilidade ambiental sugerida por ROSS (1994).

Para um melhor esclarecimento das etapas metodológicas apresentadas do decorrer do capítulo, elaborou-se um resumo enumerando as principais idéias contidas em cada etapa:

1ª) geração da primeira carta de fragilidade potencial (CFP1), através da lógica booleana de cruzamento, segundo os critérios de valoração da metodologia de ROSS (1994). Vide Tabelas 2, 3, 4 e 5 (pg 74-78).

2ª) geração da segunda carta de fragilidade potencial (CFP2) também por meio da lógica booleana de cruzamento, diferindo da primeira carta pela valoração diferenciada das classes geomorfológicas, geológicas e da classe pedológica Cambissolo latossólico. Vide Tabela 5 (pg 78).

3ª) geração da terceira carta de fragilidade potencial (CFP3) através da metodologia de suporte à decisão AHP (lógica *fuzzy*), com os mesmos pesos adotados para a

primeira carta, contudo agora com a ponderação (hierarquização) interelementos (pedologia, declividade, geomorfologia e geologia). Vide Tabela 13 (pg 91).

4ª) geração da quarta carta de fragilidade potencial (CFP4) através da metodologia de suporte à decisão AHP (lógica *fuzzy*), com a mesma valoração das classes da segunda carta, além da ponderação interelementos (hierarquização) conforme Tabela 15 (pg 94).

5ª) Valoração das tipologias da 'Carta de Uso Atual das Terras e Cobertura Vegetal' segundo critérios estipulados na metodologia ROSS (1994). Vide Tabela 6 (pg 78).

6ª) geração das cartas de fragilidade emergente (CFE's) através do cruzamento da 'Carta de Uso Atual das Terras' com as quatro cartas de fragilidade potencial.

No QUADRO 6, as diferenças relativas ao tipo de lógica adotada e ao tipo de ponderação inter e intra-elementos entre as cartas de fragilidade potencial são evidenciadas.

QUADRO 6. ETAPAS METODOLÓGICAS DAS CARTAS DE FRAGILIDADE POTENCIAL (LÓGICA, DIFERENÇA E IGUALDADE INTRA E INTER ELEMENTOS DO GEOSISTEMA).

CARTAS	LÓGICA		DIFERENÇA E IGUALDADE INTRA E INTER ELEMENTOS	
	Booleana	Fuzzy	Intra	Inter
CFP1	s	N	d*	i
CFP2	s	N	d**	i
CFP3	n	S	d**	d**
CFP4	n	S	d**	d**

Nota: (s) sim; (n) não; (d) diferença; (i) igualdade (*) Modelo Ross; (**) Modelo alternativo proposto.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados da aplicação da metodologia de ROSS (1994) - Carta de Fragilidade Potencial 1 e Carta de Fragilidade Emergente 1 - e das metodologias alternativas sugeridas neste trabalho.

Primeiramente, serão expostos os dados relativos à fragilidade potencial ($FP = \text{pedologia} \times \text{declividade} \times \text{geomorfologia} \times \text{geologia}$) da BHC/FR em uma sequência de quatro cartas com seus dados correspondentes à quantificação das áreas em hectares e porcentagens e que serão confrontadas entre si. Portanto, a primeira carta de fragilidade potencial (metodologia Ross) deverá ser comparada com as três cartas geradas conforme a metodologia alternativa.

Num segundo momento, serão expostas as quatro cartas de fragilidade emergente ($FE = FP \times UT$), resultantes do cruzamento das cartas de fragilidade potencial com a Carta do Uso das Terras (CUT) e os seus dados também confrontados.

5.1 AS CARTAS DE FRAGILIDADE POTENCIAL DO AMBIENTE NATURAL.

5.1.1 Cartas geradas segundo a Lógica Booleana.

5.1.1.1. Carta da Fragilidade Potencial 1 (CFP1) do meio natural segundo o modelo de ROSS (1994).

Na Carta de Fragilidade Potencial 1 (FIGURA 15), optou-se por aplicar os pesos sugeridos tal qual à metodologia de ROSS (1994).

As áreas resultantes do mapeamento da fragilidade potencial segundo a metodologia de ROSS (1994) estão distribuídas entre as classes de fragilidade Média, Alta e Muito Alta.

Conforme a TABELA 11, a classe de fragilidade potencial **Média** corresponde a 23,77ha da área da bacia hidrográfica cárstica e é constituída pelas Terras Brunas Roxas Estruturada (100% da área da CFP1) em relevo suave ondulado (33,00%) a

Ondulado (53,65%), com encostas do tipo convexas e convexo-retilíneas curtas (aproximadamente 100%), sobre geologia de diques de diabásio (100%), correspondendo a 1,48% do total da área da Bacia Hidrográfica Cárstica de Fervida e Ribeirão das Onças (anexo 4).

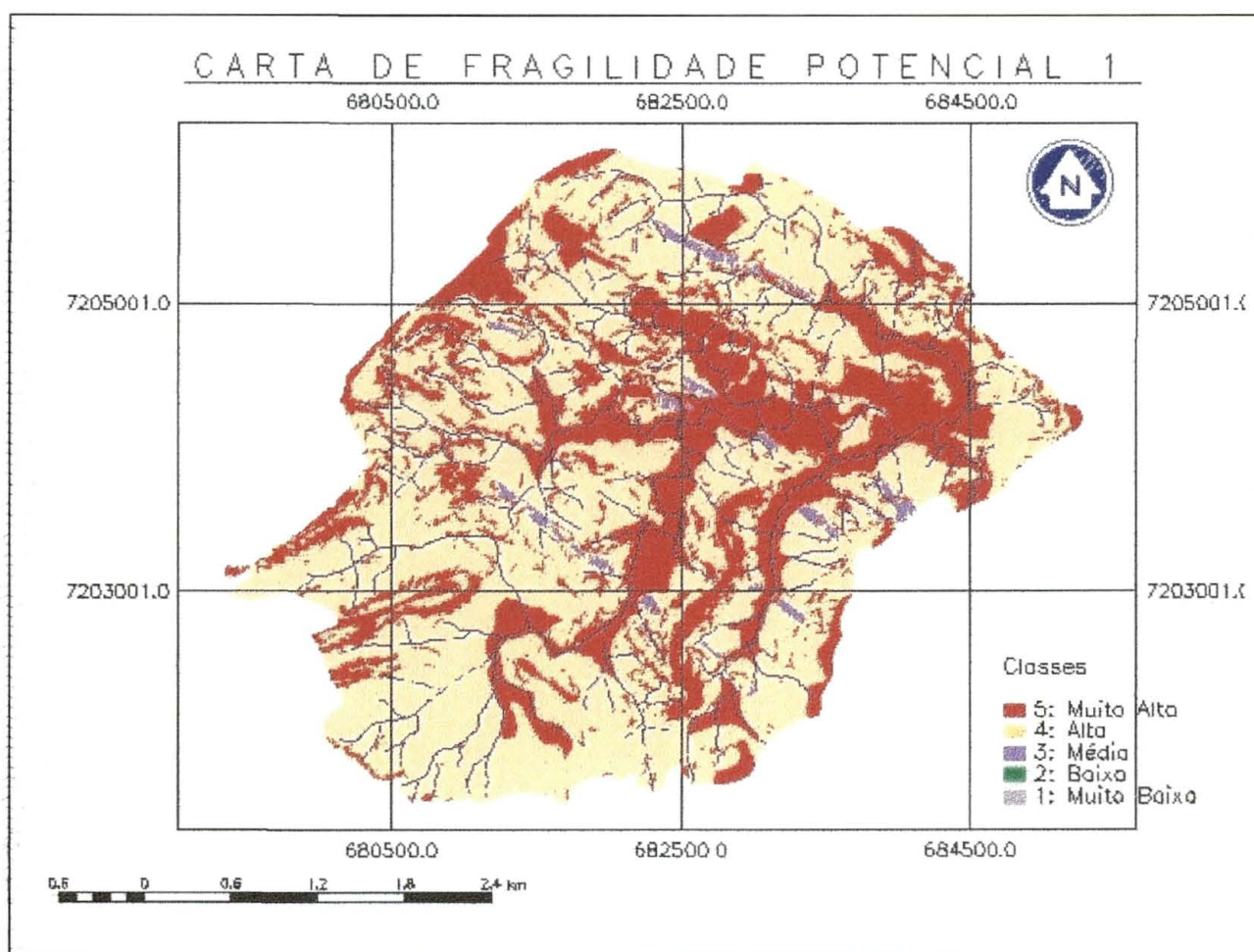
Na classe de fragilidade potencial **Alta** há uma predominância dos Cambissolos (maior percentual para o Cambissolo distrófico pouco profundos – Cd2, com 38,19% da área da classe de Alta fragilidade potencial), seguido do Cambissolo distrófico profundo (Cd3), com 23,00%. Com relação à declividade, predomina nesta classe de fragilidade o relevo do tipo ondulado (32,92%), seguido em menor proporção pelo suave ondulado (27,47%) e forte ondulado (26,45%). As encostas predominantes são as convexas longas e côncavas-convexas curtas (79,38%), sobre geologia predominantemente dolomítica (58,07%) seguida da pelítica (31,12%) e dos diques de diabásio. A classe de fragilidade potencial Alta obteve a maior proporção da área da microbacia com 1.027,38 ha correspondendo a 63,93% (tabela 11).

Por fim, a classe de fragilidade **Muito Alta** tem como seu maior expoente os Solos Litólicos (22,03% para a classe Rd2), os Cambissolos (Cd1 com 15,56%, Cd2 com 14,94% e Cd3 com 14,68%) e os Hidromórficos (13,49%); em relevo predominantemente montanhoso (47,37%) e plano (20,59%); nas planícies aluviais (R1 com 21,46%) e nos morros altos estreitos e alongados de encostas do tipo convexas e convexo-retilíneas curtas (R3 com 43,35%); sobre geologia predominante dos pelitos (30,71%), seguidos pelos aluviões (28,04%). Essa classe compreende 34,56% da área da microbacia como pode ser observado na tabela 11.

TABELA 11 - CARTA DA FRAGILIDADE POTENCIAL 1 (CFP1).

Classes de fragilidade	Área (hectares)	Porcentagem
Muito Baixa	---	---
Baixa	---	---
Média	23,77	1,48
Alta	1.027,38	63,96
Muito Alta	555,01	34,56
Total	1.606,16	100

FIGURA 15 - CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 1.



5.1.1.2. Carta da Fragilidade Potencial 2 (FP2) do meio natural segundo modelo alternativo proposto.

A carta de Fragilidade Potencial 2 apresentou diferenças importantes com relação às porcentagens das classes quando comparada à CFP1 (ROSS, 1994), como pode ser observado na tabela 12 e na FIGURA 16.

TABELA 12 - CARTA DA FRAGILIDADE POTENCIAL 2 (CFP2).

Classes de fragilidade	Área (hectares)	Porcentagem
Muito Baixa	---	---
Baixa	---	---
Média	221.40	13,77
Alta	846.53	52,71
Muito Alta	538.23	33,52
Total	1.606.16	100

Como resultado da aplicação dos novos valores sugeridos nesta metodologia alternativa, para a classe de fragilidade potencial Média houve uma inversão da predominância das Terras Roxas e Brunas Estruturadas (na CFP1) para os Cambissolos latossólicos. Com relação às classes geomorfológicas houve a emergência da classe R3 (encostas convexas e convexo-retilíneas curtas). Para a geologia, a classe de fragilidade média que correspondia totalmente aos diques de diabásio, passa a ser distribuída na CFP2 entre os dolomitos e os diques de diabásio.

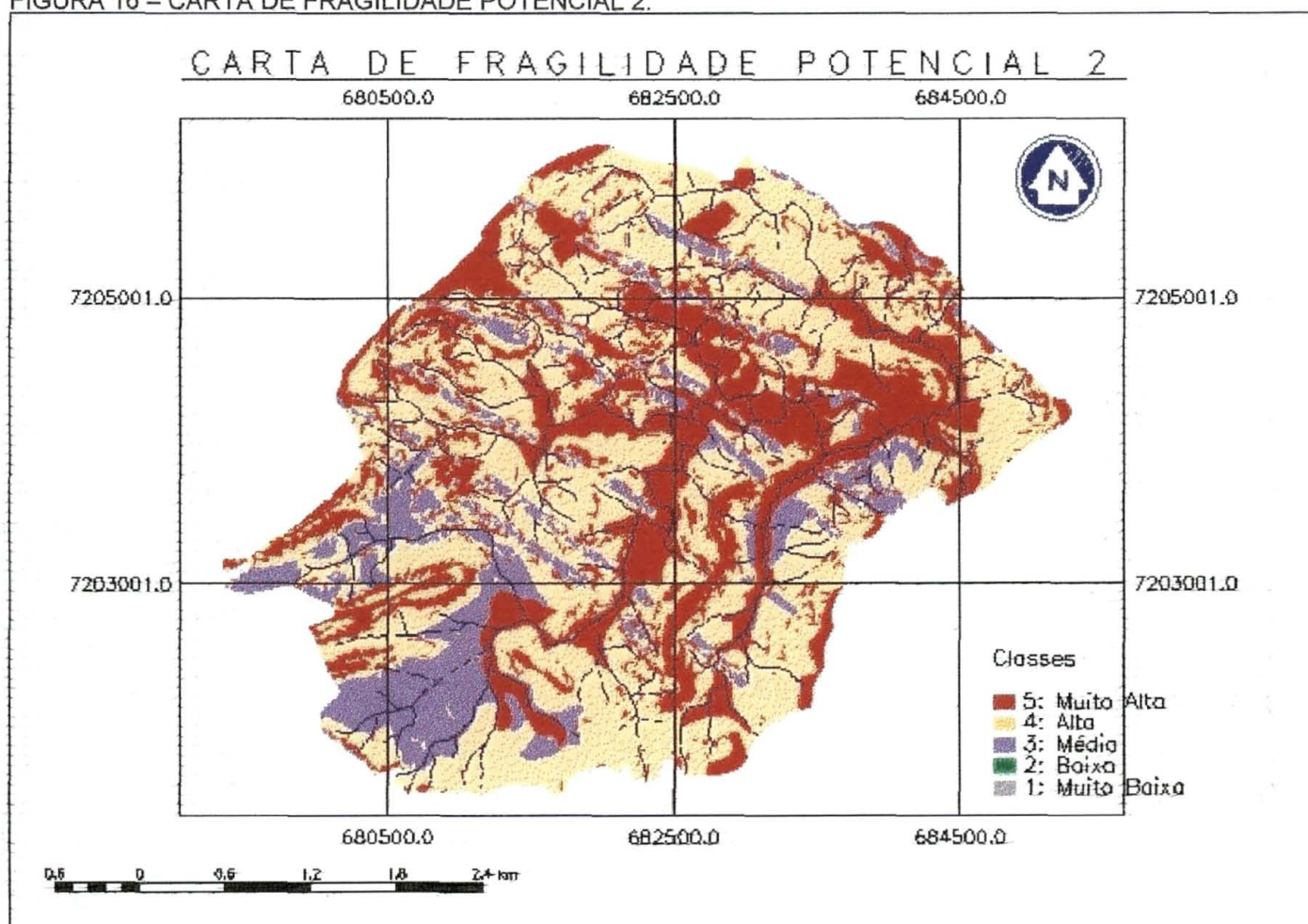
A partir desses valores quantitativos pode-se notar que a área da classe de fragilidade Média aumentou na CFP2 (sudoeste da bacia hidrográfica, figura 14) de 1,48% (tabela 11) para 13,77% (tabela 12), ao passo que a classe de fragilidade Alta (sentido norte-sul da bacia, acompanhando a planície aluvial e topos, conforme a figura 14) testemunhou uma redução de 63,96% para 52,71%, de acordo a mesma comparação.

Assim, a Carta de Fragilidade Potencial 2 possui os seguintes valores implícitos: na classe de fragilidade potencial Média há um predomínio dos Cambissolos latossólicos (Ca) - no sudoeste da bacia - seguido com menor percentual pelas Terras Brunas Roxas estruturadas. O relevo apresenta-se suave ondulado, seguido em menores proporções pelos relevos do tipo plano e ondulado, predominando as encostas do tipo convexas longas e côncavas-convexas curtas. Na geologia dominam os dolomitos e os diques de diabásio.

Na classe de fragilidade Alta (4) predominam os Cambissolos Cd2 (Cambissolo distrófico pouco profundo e profundos) e Cd3 (Cambissolos distróficos profundos); relevo ondulado a forte ondulado; de encostas do tipo predominantemente R2 (convexas longas e côncavo-convexas curtas); sobre geologia dolomítica seguida da pelítica.

Na classe de fragilidade potencial Muito Alta predominam os solos Litólicos, os Cambissolos Cd1, Cd2, Cd3 e os Hidromórficos; o relevo montanhoso seguido do Plano; as encostas do tipo R1 (planícies aluviais) seguida da R3 (convexas e convexo-retilínea curtas) sobre geologia dos aluviões e dos quartzitos.

FIGURA 16 – CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 2.



5.1.2 Cartas Geradas Segundo a Lógica Fuzzy (AHP).

5.1.2.1 Carta de Fragilidade Potencial 3 (CFP3) do meio natural segundo modelo alternativo proposto.

Nas Cartas de Fragilidade Potencial 3 e 4 optou-se por aplicar a ferramenta de Suporte à decisão AHP encontrada no programa SPRING 3.06.3 que possibilitou a ponderação dos elementos do geossistema (pedologia, geomorfologia -forma e declividade das vertentes- e geologia) segundo uma relação de importância estabelecida pelo usuário (INPE, 200).

Com base na RC (Razão de Consistência) da operação *fuzzy*-AHP foram calculados os pesos para a geração da soma ponderada, cujos pesos podem ser verificados na TABELA 13:

TABELA 13 - PESOS DEFINIDOS PELA TÉCNICA AHP.

Pesos	Categorias
0.524	Pedologia
0.271	Declividade
0.135	Geomorfologia
0.070	Geologia

Assim, como pode ser verificado na tabela 13, a pedologia atingiu 52,40% da importância em relação aos demais elementos, ou seja, é destacado o fator solo enquanto elemento de maior importância na estabilização do meio frente aos outros três, sejam eles: morfometria (declividade), geomorfologia e geologia. Estes valores formam usados na seguinte operação de soma ponderada:

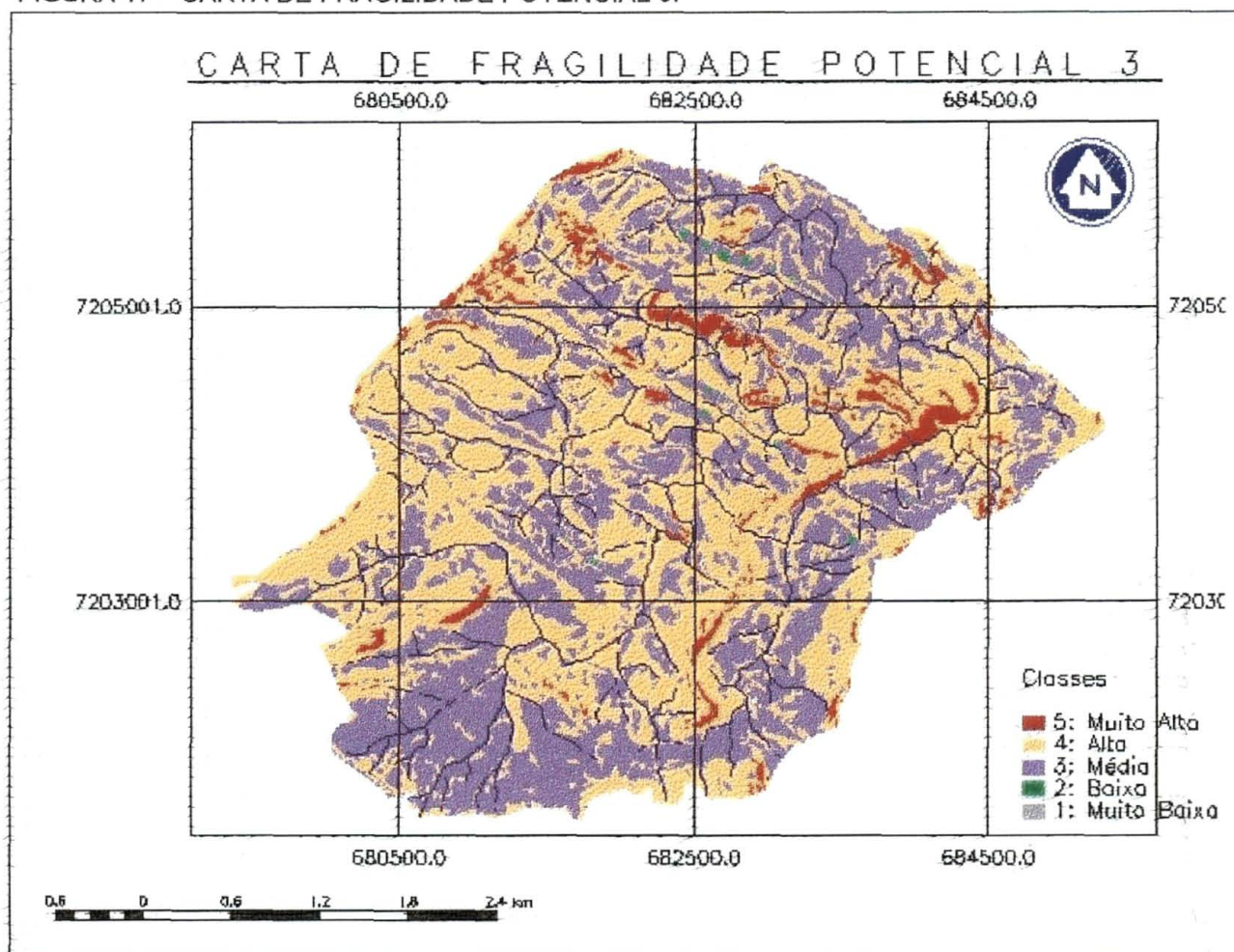
$CFP3 = 0.524(\text{pedologia}) + 0.271(\text{declividade}) + 0.135(\text{geomorfologia}) + 0.070(\text{geologia})$,
resultando na fragilidade potencial distribuída entre as classes de Baixa a Muito Alta fragilidade, cujos valores finais podem ser visualizados na tabela 14.

TABELA 14 - CARTA DA FRAGILIDADE POTENCIAL 3 (CFP3).

Classes de fragilidade	Area (hectares)	Porcentagem
Muito Baixa	---	---
Baixa	3,37	0,21
Média	646,24	40,23
Alta	888,03	55,29
Muito Alta	68,52	4,27
Total	1.606,16	100

Cabe destacar ainda que embora a CFP3 fosse gerada com os mesmos pesos utilizados por ROSS (1994) em sua primeira Carta de Fragilidade Potencial (CFP1), foi incluída nova ferramenta no modelo alternativo proposto (AHP: análise *fuzzy*), permitindo assim alcançar valores diferenciados entre ambas as cartas.

FIGURA 17 – CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 3.



Assim, com a valoração do elemento pedologia (52,40% da importância em relação aos outros elementos conforme a tabela 13) chegou-se aos seguintes resultados: a classe de fragilidade potencial Média da CFP2 passou de 13,77% para 40,23% na CFP3 e a emergência da nova classe de fragilidade potencial (Baixa) com 0,21% da área total.

Na classe de fragilidade Baixa predominam os Cambissolos latossólicos e as Terras Roxas e Brunas Estruturadas.

Na classe de fragilidade potencial Média predominam os Cambissolos distrófico profundo (Cd3) com 31,06%; distrófico pouco profundo e profundo (Cd2) com 26,54%; seguidos pelo latossólico húmico (Ca) com 20,30% da classe (ver anexo 4, pg 141) predomínio do relevo Suave Ondulado, seguido em proporções menores pelo Plano; predomínio das encostas convexas longas e côncavo-convexas

curtas (R2); predomínio da geologia dolomítica (47,91%) seguida da pelítica (26,23%).

Na classe de fragilidade potencial Alta (classe de maior representatividade com 55,29% da área total da bacia hidrográfica) há predomínio do solo dos Cambissolos Cd1 (Associação cambissolos distróficos pouco profundos e litólicos) e Cd2 (cambissolos distróficos pouco profundos); relevo predominantemente Ondulado e Forte Ondulado; encostas do tipo R2 (convexas longas e côncavo-convexas curtas) com 55,63% da classe, seguidas pelas do tipo R3 (convexas e convexo-retilíneas curtas) com 35,54%; geologia Pelítica, seguida da Dolomítica.

A classe de fragilidade potencial Muito Alta é constituída pelos solos Rd2 (Associação de Solos Litólicos e cambissolo raso, ambos distróficos) e Rd1 (solos Litólicos distróficos com horizonte A moderado) e Hidromórficos; em relevo Montanhoso com encostas do tipo R3 (convexas longas e côncavo-convexas curtas) com 82,14% e R1 (planícies aluvionares) com 3,66%.

5.1.2.2 Carta de Fragilidade Potencial 4 (CFP4) do meio natural segundo modelo alternativo proposto.

Na CFP4, foram adotados pesos diferentes para cada elemento do geossistema (pedologia, geomorfologia, geologia) através da ferramenta AHP de comparação pareada. O valor calculado da Razão de Consistência para esta operação foi de $RC = 0.001$, ficando dentro do intervalo permitido.

TABELA 15 - PESOS DEFINIDOS PELA TÉCNICA AHP.

Pesos	Categorias
0.524	Pedologia
0.271	Declividade
0.135	Geomorfologia
0.070	Geologia

Como pode ser verificado na tabela 15, a pedologia também atingiu 52,40% da importância em relação aos demais elementos. Estes valores foram usados na seguinte operação de média ponderada:

$CFP4 = 0.524(\text{pedologia}) + 0.271(\text{declividade}) + 0.135(\text{geomorfologia}) + 0.07(\text{geologia})$, resultando na fragilidade potencial distribuída entre as classes de Baixa a Muito Alta fragilidade, cujos valores podem ser visualizados conforme a tabela 16.

TABELA 16 - CARTA IV DA FRAGILIDADE POTENCIAL DO MEIO NATURAL.

Classes de fragilidade	Área (hectares)	Porcentagem
Muito Baixa	---	---
Baixa	65,38	4,07
Média	862,49	53,70
Alta	622,77	38,78
Muito Alta	55,37	3,45
Total	1.606,16	100

A classe de fragilidade Média (53,70%) passa a ser dominante na área da BHC/FR, invertendo o cenário da carta anterior, cuja classe predominante era a de Alta fragilidade potencial.

Os valores da tabela 16, quando comparados aos percentuais da CFP3, apresentou alterações importantes para a fragilidade da bacia hidrográfica cárstica de Fervida e Ribeirão das Onças: a classe de fragilidade potencial Baixa aumentou de 0,21% na CFP3 para 4,07%; a classe de fragilidade potencial Média passou de 40,21% da área total para 53,70%; em contrapartida, ocorreu uma diminuição da porcentagem da classe de fragilidade Alta que possuía 55,29% da área total % na CFP3 para 38,78% na CFP4. Aparentemente, esta mudança numérica aponta uma transferência das áreas das classes mais altas para as médias e baixas. Isso pode ser explicado em função da aplicação da técnica AHP, cuja operação da soma ponderada resultou na transferência dos valores da categoria Cambissolo Latossólico (Ca) das classes de Média fragilidade potencial (67,07% na CFP3) para a classe de fragilidade potencial Baixa (27,39% na CFP4). Observou-se também o aumento da categoria de relevo Plano (de 1,33% na CFP3 para 25,88% na CFP4). De modo geral também ocorreu um aumento das demais categorias, contudo as diferenças mais pronunciadas atingiram a diferença máxima de seis pontos percentuais, como foi o caso dos metadolomitos (de 0,00% na CFP3 para 6,05% na CFP4) na categoria geologia.

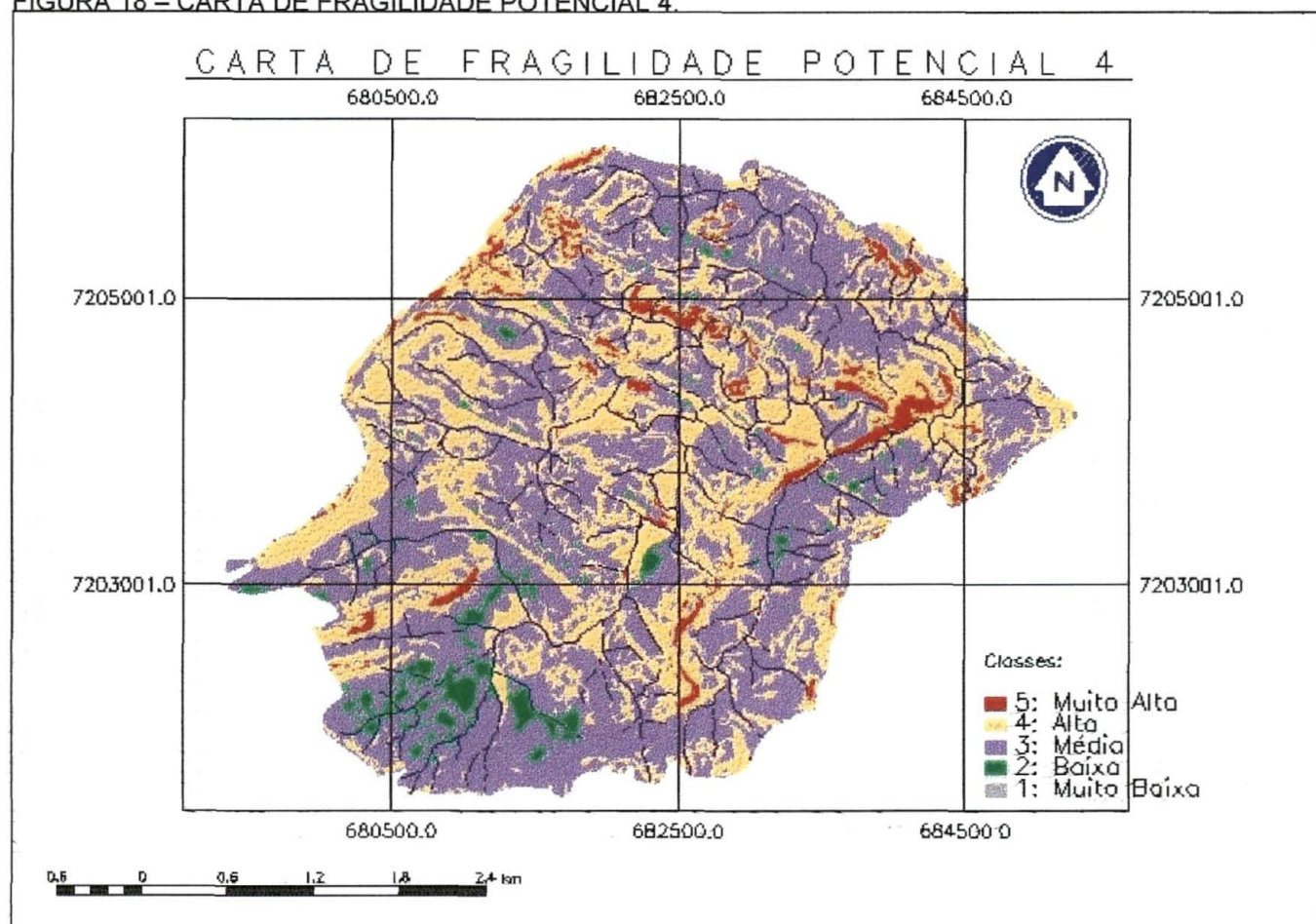
Da aplicação desta proposta metodológica alternativa construiu-se, portanto, a Carta de Fragilidade Potencial 4 com as seguintes características: na classe de fragilidade potencial Baixa foi destacada a classe pedológica dos Cambissolos Latossólicos com 27,39% do seu total (81,94% da área total da classe de fragilidade potencial Baixa); o relevo Plano também seguiu em valores aproximados esta proporção (25,88%, marcando 90,39% do total da classe de Baixa fragilidade potencial); as encostas do tipo R2 marcaram esta classe de fragilidade com 5,71% de sua área, enquanto que as encostas do tipo R3 marcaram com apenas 1,39%; as geologias dolomíticas e os diques de diabásio.

Na classe de fragilidade potencial Média os Cambissolos Cd2 e Cd3 são os solos mais representativos na área da bacia hidrográfica (juntos perfazem 61,60% da classe) com o Cd2 atingindo o maior percentual (31,37%, conforme anexo 4); os relevos Suave Ondulado e Ondulado perfazem 75,71% da classe, com 39,25% para o Ondulado; as encostas do tipo convexas longas e côncavo-convexas curtas (R2); marcam 82,12% da classe; os metadolomitos e os metapelitos somam 79,10% do total desta classe.

A classe de fragilidade potencial Alta é constituída predominantemente pelos solos Cd2 (cambissolos distróficos pouco profundos) com 32,87% da classe, seguidos da Associação de Cambissolos e Litólicos (Cd1) com 27,23% da classe de Alta fragilidade. Os relevos Montanhoso e Forte Ondulado somam 74,22% da classe; as encostas do tipo R2 e R3 perfazem 88,22% da classe com a maior proporção para as encostas do tipo R3 ; os metadolomitos e metapelitos também são responsáveis pela maior fatia da classe de alta fragilidade potencial com 73,09% da sua área.

A classe de fragilidade potencial Muito Alta é constituída predominantemente pelos solos litólicos Rd1 e Rd2 com 85,00% da classe; o relevo predominante é o do tipo R3 (encostas do tipo convexas e convexo-retilíneas curtas) com 88,78% e Montanhoso com 97,76% da classe.

FIGURA 18 – CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 4.



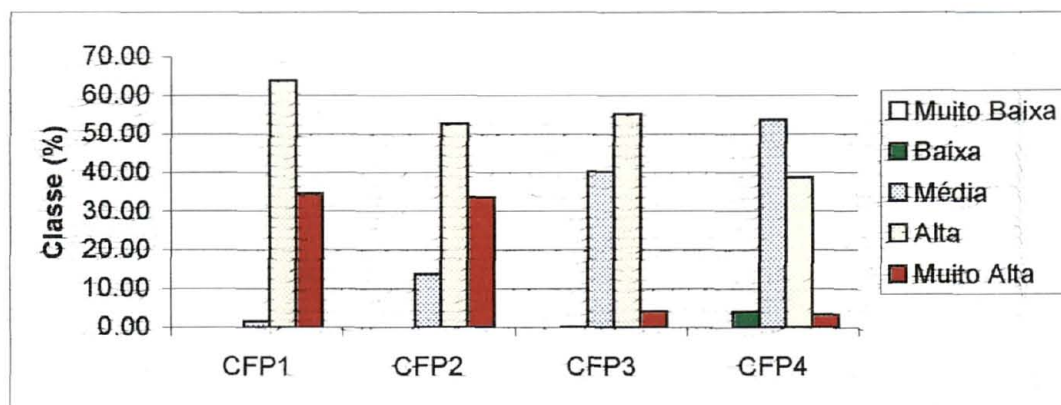
A partir dos percentuais anteriores, pôde-se construir outra tabela (TABELA 17) sintetizando a evolução das classes de fragilidade potencial frente aos quatro cenários (cartas) construídos no desenvolvimento metodológico.

TABELA 17 - SÍNTESE DA EVOLUÇÃO DAS CLASSES DE FRAGILIDADE POTENCIAL.

CARTA	CFP1	CFP2	CFP3	CFP4
CLASSE	ÁREA (%)			
Muito Baixa	----	----	----	----
Baixa	----	----	0,21	4,07
Média	1,48	13,77	40,23	53,70
Alta	63,96	52,71	55,29	38,78
Muito Alta	34,56	33,52	4,27	3,45
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

A partir da tabela 17 construiu-se o GRÁFICO 6 mostrando o movimento das classes entre as quatro cartas de fragilidade potencial.

GRÁFICO 6. COMPARAÇÃO DAS CLASSES DE FRAGILIDADE POTENCIAL DE ACORDO SUAS RESPECTIVAS CARTAS.



A partir do exposto pode-se concluir que os quatro cenários construídos no decorrer do desenvolvimento metodológico indicam valores diferenciados no mapeamento da fragilidade ambiental. Analisando os extremos, podemos notar na primeira coluna (CFP1) que 63,96% e 34,56% da área da BHC/FR que se localizam respectivamente em classes de **Alta** e **Muito Alta** fragilidade potencial passam, na quarta coluna (CFP4), a ser distribuídas em classes de **Média** (53,70%) e **Baixa** (4,07%) fragilidade potencial.

Assim sendo, observou-se que a metodologia de mapeamento de fragilidade ambiental sugerida por ROSS (1994), quando aplicada à especificidade local da BHC/FR restringe o uso dos recursos naturais na medida que concentra a área da bacia hidrográfica dentro do intervalo das classes de fragilidade potencial Alta e Muito Alta. Contudo, na medida em que essa metodologia começou a sofrer as alterações apresentadas no decorrer das três cartas restantes, houve uma distribuição das áreas da BHC/FR em todas as classes, com exceção da Muito Baixa, o que torna possível pensar o uso dos recursos naturais em termos de exploração agrícola.

Cabe ainda fazer uma ressalva com relação à classe de Baixa fragilidade potencial nas Cartas CFP 3 e CFP4. Nelas a classe de fragilidade potencial baixa é

constituída pelas seguintes categorias pedológicas: Cambissolos latossólicos, Cambissolos distróficos profundos e as Terras Brunas Roxas Estruturadas (ver anexo 4, TABELA...) Em relação aos cambissolos, a classe de fragilidade potencial baixa parece estar em concordância com suas qualidades (EMATER, 1997).

No entanto, com relação às Terras Brunas Roxas Estruturadas parece haver, num primeiro momento, uma discordância em relação às suas qualidades (principalmente em relação à alta susceptibilidade à erosão conferida pela estrutura dos agregados e gradiente textural). Contudo, a análise do mapeamento da fragilidade potencial exige uma análise integrada do geossistema, exigindo para tanto a correlação das variáveis em jogo (pedologia, declividade, geomorfologia, geologia). Em se tratando da classe de baixa fragilidade potencial, as TBREe's devem ser analisadas em conjunto com: os relevos plano e suave ondulado, os morros e colinas baixas de encostas convexas longas e côncavo-convexas curtas e as geologias dos diques de diabásio e dolomitos.

Neste contexto, 2,23% das TBREe's na CFP3 (conforme anexo 5) e 7,80% das TBREe's na CFP4 (anexo 5) podem ser enquadradas numa classe de fragilidade potencial Baixa. O restante das TBREe's (73,49% na CFP3) e (73,23% na CFP4) estão localizadas nas áreas de Média fragilidade potencial, perfazendo 17,21% e 12,85% da classe Média respectivamente, conforme anexo4.

Por outro lado, analisando-se a Carta de Fragilidade Potencial 1, pode-se notar uma inversão de valores na conceituação dos Cambissolos latossólicos quanto a suas fragilidades ou potencialidades: na CFP1 os Cambissolos Latossólicos são enquadrados nas classes de Alta (84,97% em 15,42% da área desta classe) e Muito Alta (19,03% em 6,71% da área desta classe) fragilidade potencial, enquanto que na CFP4 nas classes de Baixa e Média fragilidade potencial.

Ora, isso mostra em parte a deficiência de qualquer classificação taxonômica ao tentar enquadrar um grupo determinado de elementos dentro de uma única classe, desconsiderando muitas vezes as especificidades (diferenças) entre cada elemento. No caso dos Cambissolos, eles constituem uma grande classe que abrange tipos de solos com características semelhantes, embora entre eles existam diferenças marcantes que refletem na constituição de suas qualidades (fertilidade, resistência à erosão, mecanização, resiliência, etc).

Neste trabalho as metodologias refletem conceitos diferenciados de qualidade (principalmente quanto à erodibilidade) de solo. Na metodologia alternativa proposta, ao contrário da original, considerou-se o Cambissolo latossólico húmico (Ca) como o de melhor qualidade. – lembrando o conceito de qualidade do solo segundo KARLEN et al (1996) – em relação ao total dos solos levantados naquela região, embora fosse apontado pela EMATER (1996) uma boa aptidão agrícola para o Cambissolo distrófico profundo (Cd3).

Em se considerando estes dois tipos de Cambissolos (Ca e Cd3) como os de melhor qualidade - ampliando este conceito referente à produtividade para o de instabilidade morfodinâmica - em relação ao conjunto dos solos da bacia hidrográfica e considerando também o destaque do elemento pedologia como fator de estabilidade/instabilidade morfodinâmica da paisagem, então se tem um total de 31,95% da área da bacia hidrográfica com características de média a baixa fragilidade potencial.

Este dado pode vir a ajudar na recomendação e adoção de uma ou outra carta de fragilidade potencial enquanto indicador quantitativo de planejamento e gestão do uso das terras.

A escolha de uma ou outra carta irá depender da finalidade a que se deseja dar ao uso das terras. Se a finalidade for estritamente a preservação dos recursos naturais (mais especificamente da qualidade da água), a adoção da primeira carta (CFP1) irá se adequar perfeitamente àquela finalidade; contudo, se a finalidade for o desenvolvimento sustentável da comunidade local, abre-se um leque de opções limitado não somente às três cartas de fragilidade potencial restantes - da segunda (CFP2) à quarta carta (CFP4) podem existir outras possibilidades que não foram construídas neste trabalho.

A metodologia de mapeamento da fragilidade ambiental mostra-se adequada para a análise da dinâmica dos geossistemas quando incorpora junto aos componentes do sistema natural (pedologia, geologia, geomorfologia e vegetação), o fator antrópico, representado pela lógica produtiva e pelo uso dos recursos naturais.

O importante a destacar é que a metodologia proposta neste trabalho partiu do pressuposto que o geossistema da BHC/FR possui especificidades locais que imprimem ao sistema dinâmicas geoecológicas complexas que não são consideradas quando aplicada a metodologia de mapeamento da fragilidade ambiental de forma pura e simples.

Dessa forma, a escolha por uma ou outra carta de fragilidade potencial só irá realmente fazer sentido quando confrontada com o tipo de uso a que está sendo submetido o meio natural, ou seja, dizer que uma área tem maior ou menor fragilidade potencial (leia-se instabilidade morfogenética) passa a adquirir outra magnitude (ou seja, uma determinada vulnerabilidade) quando analisado em conjunto com os usos efetivamente praticados no local.

O resultado obtido através da metodologia de Ross poderia induzir aparentemente a um impedimento da utilização efetiva do espaço para fins produtivos. Ora, nem sempre uma intervenção humana no meio é sinônimo de degradação ambiental, desde que a tecnologia empregada seja adequada ao potencial ecossistêmico existente. Para tanto, deve-se conhecer também os limites e as potencialidades dos agroecossistemas praticados localmente.

Após a discussão dos resultados apresentados na elaboração das quatro cartas de fragilidade potencial, dar-se-á seqüência à análise do uso atual das terras da bacia hidrográfica de Fervida e Ribeirão das Onças.

5.2. INTERAÇÃO ENTRE A FRAGILIDADE POTENCIAL DOS AMBIENTES NATURAIS E O USO ATUAL DAS TERRAS.

5.2.1 Cartas de Fragilidade Emergente do Ambiente Antropizado.

Neste item estarão sendo confrontadas as cartas de fragilidade potencial com o uso atual das terras da bacia hidrográfica de Fervida e Ribeirão das Onças, o que caracterizará a vulnerabilidade da área aos tipos exploração agrícola e à ocupação urbana.

Cabe lembrar que são usados pesos iguais no cruzamento das cartas de fragilidade potencial com a Carta do Uso Atual das Terras (CUT) da BHC/FR, ou

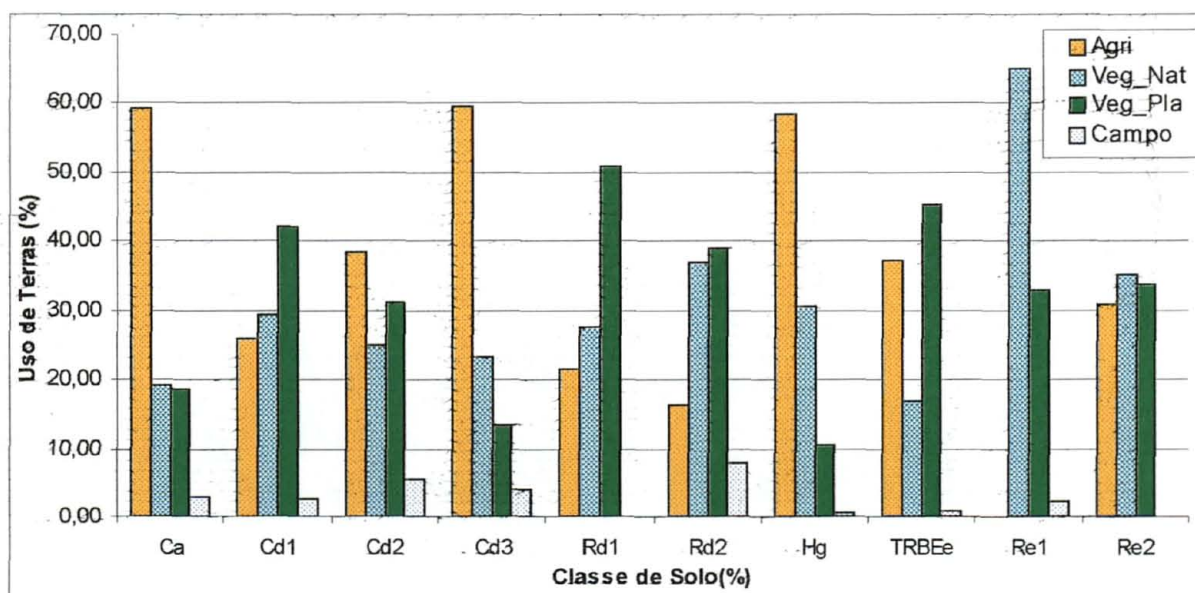
seja, as cartas de fragilidade potencial têm o mesmo peso que a carta de uso das terras, o que irá influenciar grandemente a fragilidade ambiental ou emergente da área.

Não obstante, para a melhor compreensão das Cartas de Fragilidade Emergente, devem ser lembradas as porcentagens das categorias de Uso da BHC/FR. A categoria Agricultura ocupa a maior porção da área bacia hidrográfica (40,29%), seguida da categoria Vegetação Natural (28,21%) e Vegetação Plantada (Bracatinga), com 24,35%, conforme o gráfico 4 da página 70.

Outra informação importante para a abordagem da fragilidade emergente é o conhecimento do tipo de exploração a que estão sendo submetidos os recursos naturais. Para tanto, foram cruzados os planos de informação do Uso das Terras com cada elemento do geossistema (pedologia, geomorfologia e geologia), resultando nos seguintes gráficos, cujos valores encontram-se discriminados no Anexo 6.

No caso da categoria pedologia, pode-se verificar no GRÁFICO 7 as tipologias de uso realizadas sobre os solos da área.

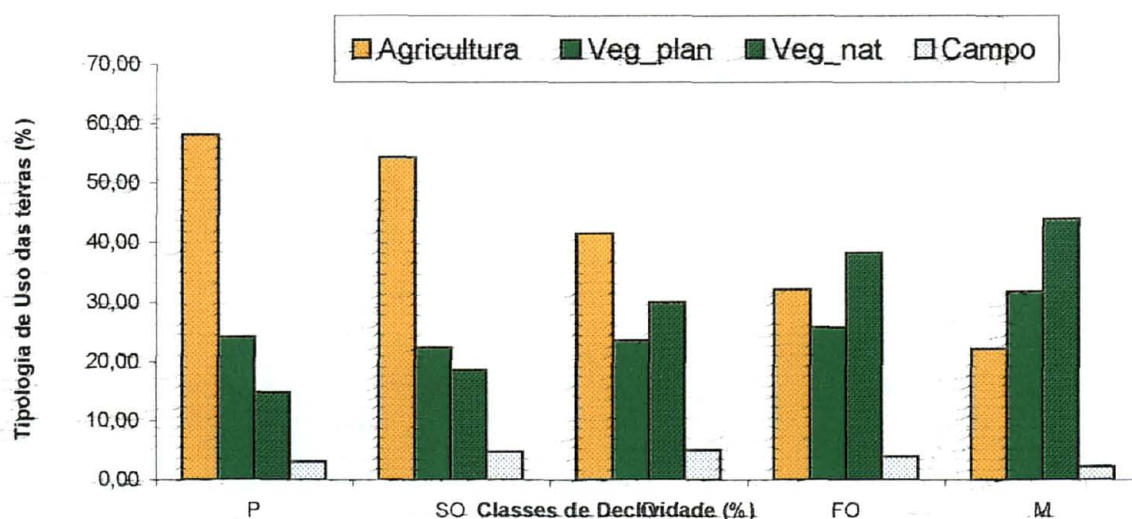
GRÁFICO 7. CONFRONTO DOS SOLOS COM AS TIPOLOGIAS DE USO DAS TERRAS DA BHC/FR.



Neste gráfico, constata-se que na tipologia Agricultura são explorados em maior proporção os Cambissolos Ca, Cd3 e Cd2 - solos de maior aptidão agrícola segundo EMATER (1996) - e Hidromórficos, ou seja, nas áreas de várzea.

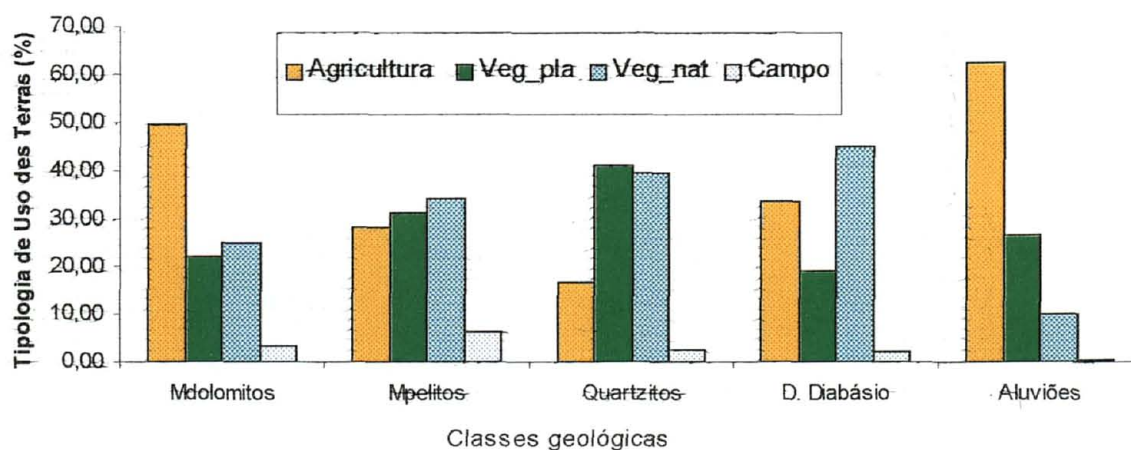
No caso da Declividade, nota-se no GRÁFICO 8 um decréscimo gradativo da área agrícola na medida que a declividade vai aumentando. As categorias Vegetação_Natural e Vegetação_Plantada mostram um aumento nas suas porcentagens na medida que o relevo passa da declividade plana à montanhosa.

GRÁFICO 8. CONFRONTO DAS DECLIVIDADES COM AS TIPOLOGIAS DE USO DAS TERRAS DA BHC-FR.



O padrão de uso dos recursos naturais também incide sobre a geologia e pode ser expresso conforme o GRÁFICO 9.

GRÁFICO 9. CONFRONTO DOS SOLOS COM AS TIPOLOGIAS DE USO DAS TERRAS DA BHC-FR.



Nele podemos notar que a Agricultura está assentada em praticamente todas as litologias, contudo atinge sua maior expressão nos Metadolomitos e nos Aluviões. As áreas preservadas de Vegetação Natural localizam-se também sobre todas as geologias, atingindo maior percentual nos diabásios, seguido pelos quartzitos, pelitos, dolomitos e, finalmente, pelos aluviões.

5.2.1.1 Carta de Fragilidade Emergente 1 (CFE1) segundo modelo ROSS (1994).

A Carta de Fragilidade Emergente 1 foi obtida partir do cruzamento das informações espacializadas da CFP1 com a CUT que se obtém a Carta de Fragilidade Emergente 1. Os resultados deste cruzamento derivam dos valores implícitos na CFP1 (categorias pedológicas, geológicas, geomorfológicas distribuídas nas classes de fragilidade Alta, Muito Alta e uma pequena porção na Média) e dos valores implícitos na CUT que possui a categoria Agricultura, de peso 5 (menor grau de proteção do solo à erosão hídrica), como a mais representativa (40,29% da bacia hidrográfica). Os resultados deste cruzamento podem ser visualizados conforme a tabela 18 e na FIGURA 19.

TABELA 18 - CLASSES DA CARTA DA FRAGILIDADE EMERGENTE 1 (CFE1).

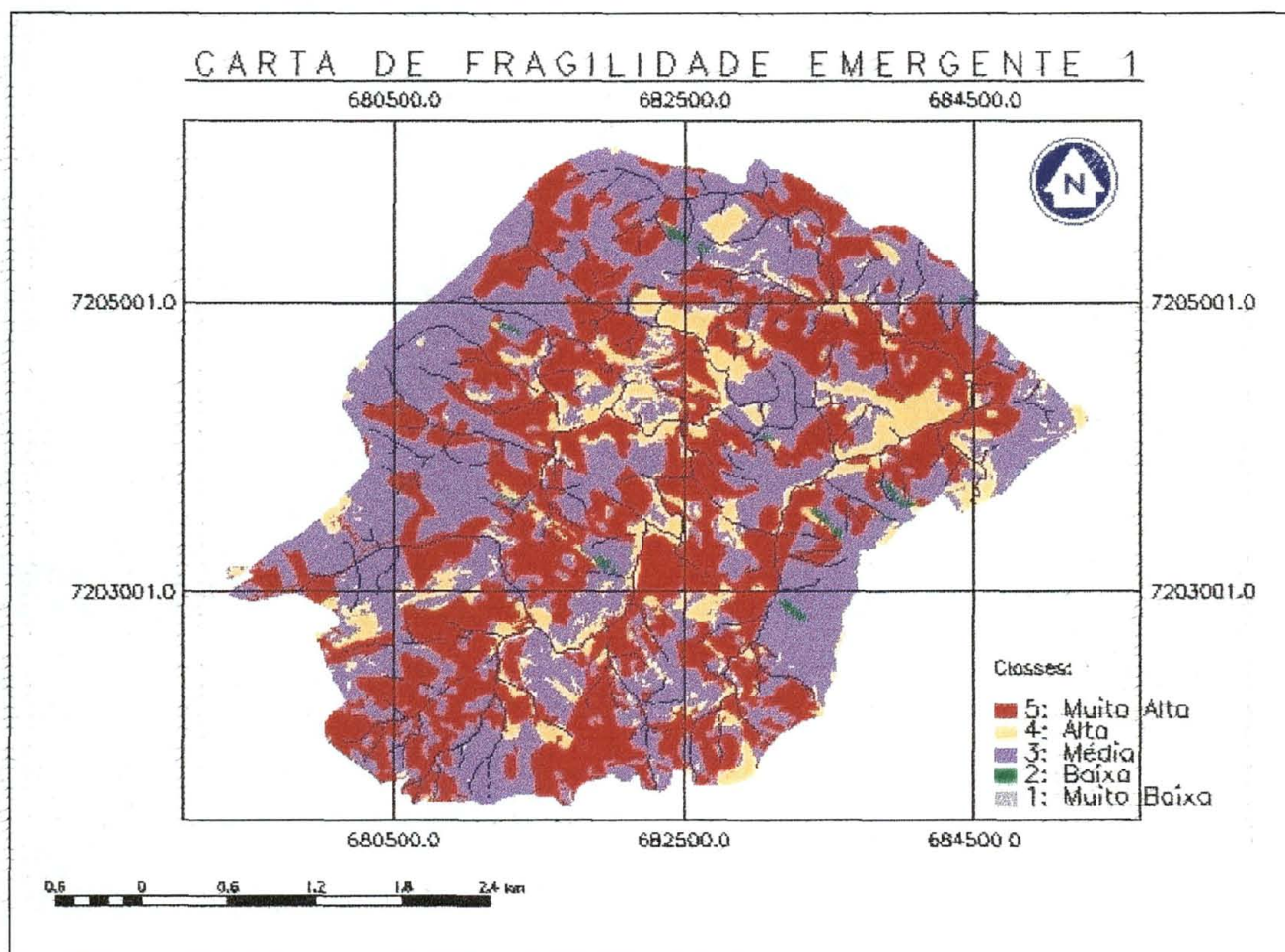
Classes de fragilidade	Área (hectares)	Porcentagem
Muito Baixa	---	---
Baixa	8,29	0,52
Média	744,38	46,38
Alta	203,75	12,70
Muito Alta	648,47	40,40
Total	1.604,89	100.00

Esta tabela pode ser interpretada da seguinte forma: se adotada a CFP1 frente à especificidade da BHC/FR, então a exploração antrópica dos recursos naturais resultará em áreas de fragilidade Média (46,38%) e Muito Alta (40,40%).

As classes de fragilidade emergente, geradas segundo a metodologia de ROSS (1994), podem se visualizadas na Carta de Fragilidade Emergente1 (FIGURA

19), onde se nota um predomínio da classe Média nas bordas da bacia hidrográfica e um predomínio da Classe Muito Alta distribuída na região central da mesma.

FIGURA 19 – CARTA DE FRAGILIDADE EMERGENTE 1.



A classe de fragilidade emergente Muito Alta resulta da seguinte operação: $(5 + 5) / 2 = 5$, ou $(5 + 4) / 2 = 4,5$ conforme a matriz básica nº 2 (pg84). Os dois pesos "5" da primeira equação correspondem à classe de fragilidade potencial Muito Alta e à categoria de uso da terra de menor grau de proteção ao solo frente aos fatores erosivos, neste caso, representada pela categoria Agricultura.

Assim, nota-se que a Agricultura (definida como a olericultura convencional) quando cruzada com a CFP1 imprimiu uma fragilidade emergente Muito Alta em apenas 40,40% da área da bacia.

Uma análise separada das categorias de uso das terras da bacia hidrográfica cárstica pode facilitar a compreensão da fragilidade ambiental, conforme a tabela 19.

TABELA 19. ÁREAS (HECTARE) RESULTANTES DO CRUZAMENTO ENTRE AS CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 1 (CFP1) E A CARTA DE USO ATUAL DAS TERRAS (ÇUT).

Categorias	Agricultura		Vegetação Natural		Vegetação Plantada	
	ÁREAS					
	ha	%	ha	%	ha	%
Muito Baixa	----	----	----	----	----	----
Baixa	----	----	----	----	----	----
Média	10,47	1,62	8,29	1,83	4,21	1,08
Alta	447,95	69,30	274,12	60,54	226,04	57,82
Muito Alta	187,97	29,08	170,35	37,63	160,66	41,10
Sub-total	646,39	100,00	452,76	100,00	390,91	100,00

De acordo a esta tabela, 98,38% da agricultura (69,30 + 29,08 da coluna relativa à Agricultura) está sendo praticada em áreas de fragilidade potencial Alta (Cambissolos situados em relevo Ondulado e Forte Ondulado de morros e colinas baixos com encostas convexas longas e côncavo-convexas curtas, sobre dolomitos, pelitos e diques de diabásio) e Muito Alta (Solos Litólicos e Hidromórficos em relevo Montanhoso de ambos tipos de encostas – R2 e R3 – sobre aluviões e quartzitos), o que resulta em 40,40% da área da BHC/FR confinadas à classe de fragilidade emergente Muito Alta (tabela 18).

Quanto à Vegetação Natural, 98,17% da tipologia (60,54 + 37,63) está implantada em áreas de Alta e Muito Alta fragilidade potencial, resultando em áreas de Média fragilidade emergente ($1 + 4 / 2 = 2,5$), conforme a matriz básica nº 2 da pg 73, e [$1 + 5 / 2 = 3$], que também corresponde à classe de fragilidade emergente média.

Para a Vegetação Plantada, 98,92% (57,82 + 41,10) da tipologia também está localizada em áreas de fragilidade potencial Muito Alta e Alta, resultando em áreas de Média ($2 + 4 / 2 = 3$) e Alta ($2 + 5 / 2 = 3,5$) fragilidades emergentes conforme a matriz básica nº 2 da pg 82.

Portanto, as categorias Vegetação Natural e Plantada contribuem significativamente para o valor percentual da classe de fragilidade emergencial Média (46,38%, conforme a tabela 18), enquanto que a tipologia agrícola contribui para o aumento de fragilidade emergente.

A Carta de Fragilidade Emergente 2 resulta do Cruzamento da Carta de Fragilidade Potencial 2, cuja principal característica é a mudança de classe dos Cambissolos latossólicos para a classe de fragilidade potencial Média, e a Carta de Uso Atual das Terras (CUT). Cabe lembrar que a operação de obtenção da CFP2 segue uma lógica booleana de cruzamento entre os elementos do geossistema (pedologia x geomorfologia x geologia).

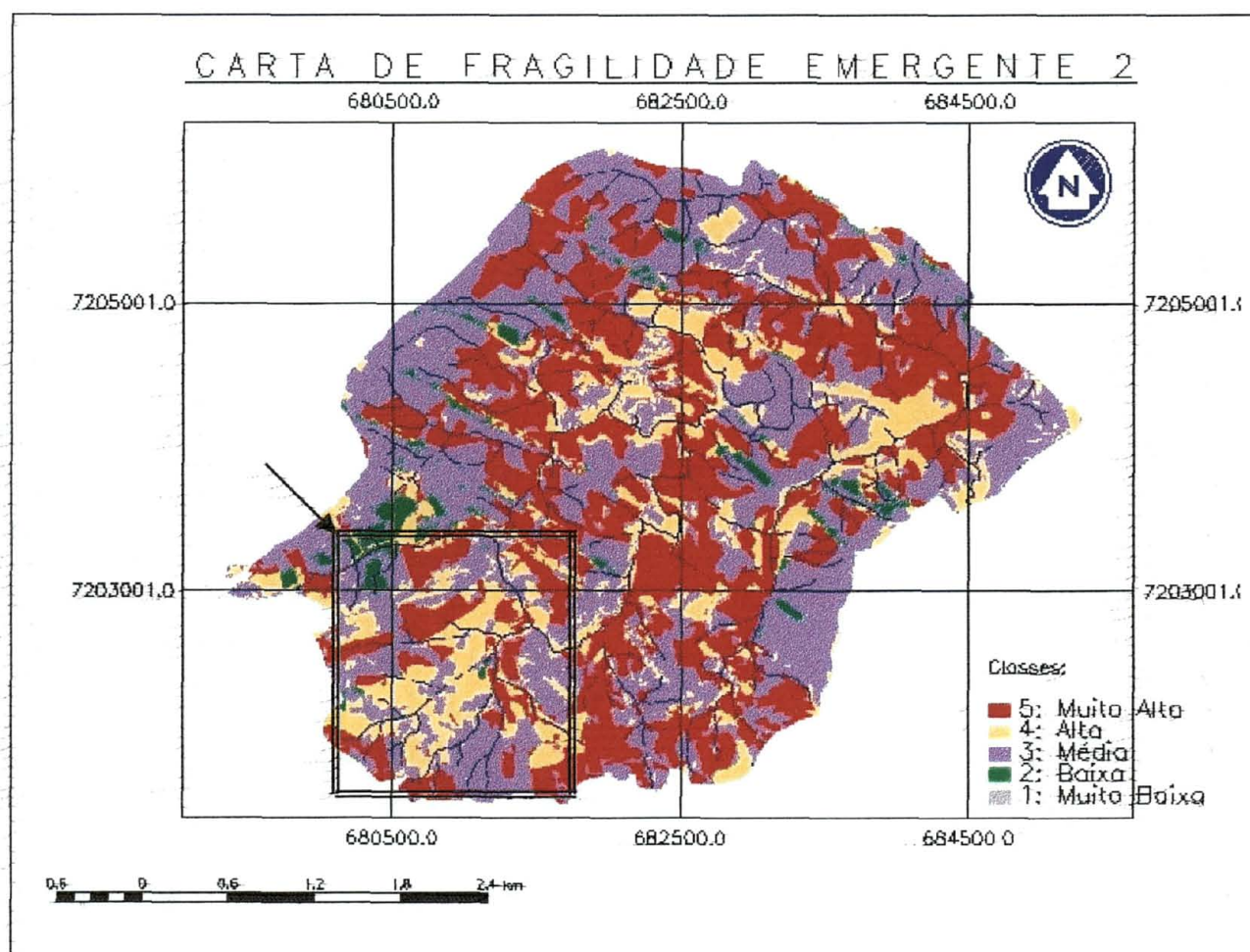
As percentagens relativas a CFE 2 podem ser visualizadas conforme a tabela 20 que possui diferenças quando comparada à Carta de Fragilidade Emergente 1.

TABELA 20 - CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE EMERGENTE 2 (CFE2).

Classes de fragilidade	Área (hectares)	Porcentagem
Muito Baixa	---	---
Baixa	53,23	3,32
Média	702,97	43,80
Alta	306,34	19,09
Muito Alta	542,35	33,79
Total	1.604,89	100,00

As classes de fragilidade emergente Muito Alta e Média quando comparadas à tabela 19 apresentam uma diminuição das suas percentagens, ao passo que as classes Alta e Baixa apresentam um aumento de 12,70 para 19,09% e de 0,52 para 3,32%, respectivamente. A classe que obteve o maior aumento proporcional foi a Classe Baixa com quase 7 vezes o seu valor.

FIGURA 20 – CARTA DE FRAGILIDADE EMERGENTE 2.



A categoria agrícola quando confrontada com o cenário da CFP2 conferiu ao meio áreas de fragilidade emergente Muito Alta menores (33,79%) que aquelas do cenário da Carta de Fragilidade Potencial anterior (40,40%). Isto pode ser notado espacialmente na área da bacia hidrográfica cárstica, conforme a figura 18, onde a classe muito alta, que anteriormente ocupava uma grande porção do espaço central da bacia, passa agora a dividir o espaço com as classes Alta e Média. O mais importante a ser notado é a mudança da classe Muito Alta para Alta na região onde predominam os Cambissolos latossólicos (sudoeste da bacia), como destacado na figura 18. Isso é explicado pelo fato dos Cambissolos latossólicos possuírem qualidades físico-químicas e biológicas que lhe conferem um bom potencial agrícola e, desde que manejados corretamente, uma baixa erodibilidade (EMBRAPA, 1984; OLIVEIRA, JACOMINE e CAMARGO, 1992; MEDEIROS, 1994; EMBRAPA, 1997).

A análise separada das categorias de uso das terras da bacia hidrográfica cárstica proporciona outra compreensão da fragilidade ambiental, conforme a tabela 21. Nela estão discriminadas as três categorias de uso da terra mais significantes em termos de área total da bacia. Elas estão sendo confrontadas com as classes da Carta de Fragilidade Potencial 2.

TABELA 21. ÁREAS (HECTARE) RESULTANTES DO CRUZAMENTO ENTRE AS CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 2 (CFP2) E A CARTA DE USO ATUAL DAS TERRAS (CUT).

Categorias	Agricultura		Vegetação Natural		Vegetação Plantada	
	ha	%	Ha	%	ha	%
Muito Baixa	---	---	---	---	---	---
Baixa	---	---	---	---	---	---
Média	115,85	17,93	53,20	11,76	35,37	9,05
Alta	353,14	54,63	231,65	51,16	197,44	50,52
Muito Alta	177,40	27,44	167,91	37,08	157,99	40,43
Sub-total	646,39	100,00	452,76	100,00	390,80	100,00

Conforme os dados acima, a classe Agricultura obteve a maior representatividade na classe de Alta fragilidade potencial, com 54,63% dos 646,39 ha. Somada à classe Muito Alta responde a 82,07% do total da área agrícola da bacia hidrográfica. As classes Vegetação Natural e Vegetação Plantada também obtiveram suas maiores representatividades espaciais na classe de fragilidade potencial Alta, com 51,16% e 50,52% respectivamente. Na categoria Vegetação Plantada, 88,24 % (51,16 + 37,08) está situada em áreas de fragilidade potencial Alta e Muito Alta o que confere à BHC/FR áreas de Média fragilidade emergente (oriundas da seguinte equação: $1 + 4 / 2 = 2,5$ e $1 + 5 / 2 = 3$). Quando situada em áreas de Média fragilidade potencial, a categoria Vegetação Natural irá imprimir na bacia hidrográfica áreas de Baixa fragilidade emergente (3,32%, conforme a tabela 20), situadas nas áreas a sudoeste da bacia correspondente aos Cambissolos latossólicos (66,90% desta classe pedológica) e TBREe's (48,39% desta classe pedológica) em relevos planos, suave ondulados e ondulados, em colinas e morros baixos com encostas convexas longas e côncavo-convexas curtas, sobre dolomitos e diques de diabásio.

4.2.1.3 Carta de Fragilidade Emergente 3 (CFE3).

A Carta de Fragilidade Emergente 3 resulta do cruzamento da Carta de Fragilidade Potencial 3, advinda da operação de soma ponderada da técnica AHP, com a Carta de Uso Atual e Ocupação das Terras (CUT).

As percentagens relativas a CFE3 podem ser visualizadas conforme a TABELA 22 que possui diferenças quando comparada à Carta de Fragilidade Emergente 2.

TABELA 22 - CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE EMERGENTE 3 (CFE3).

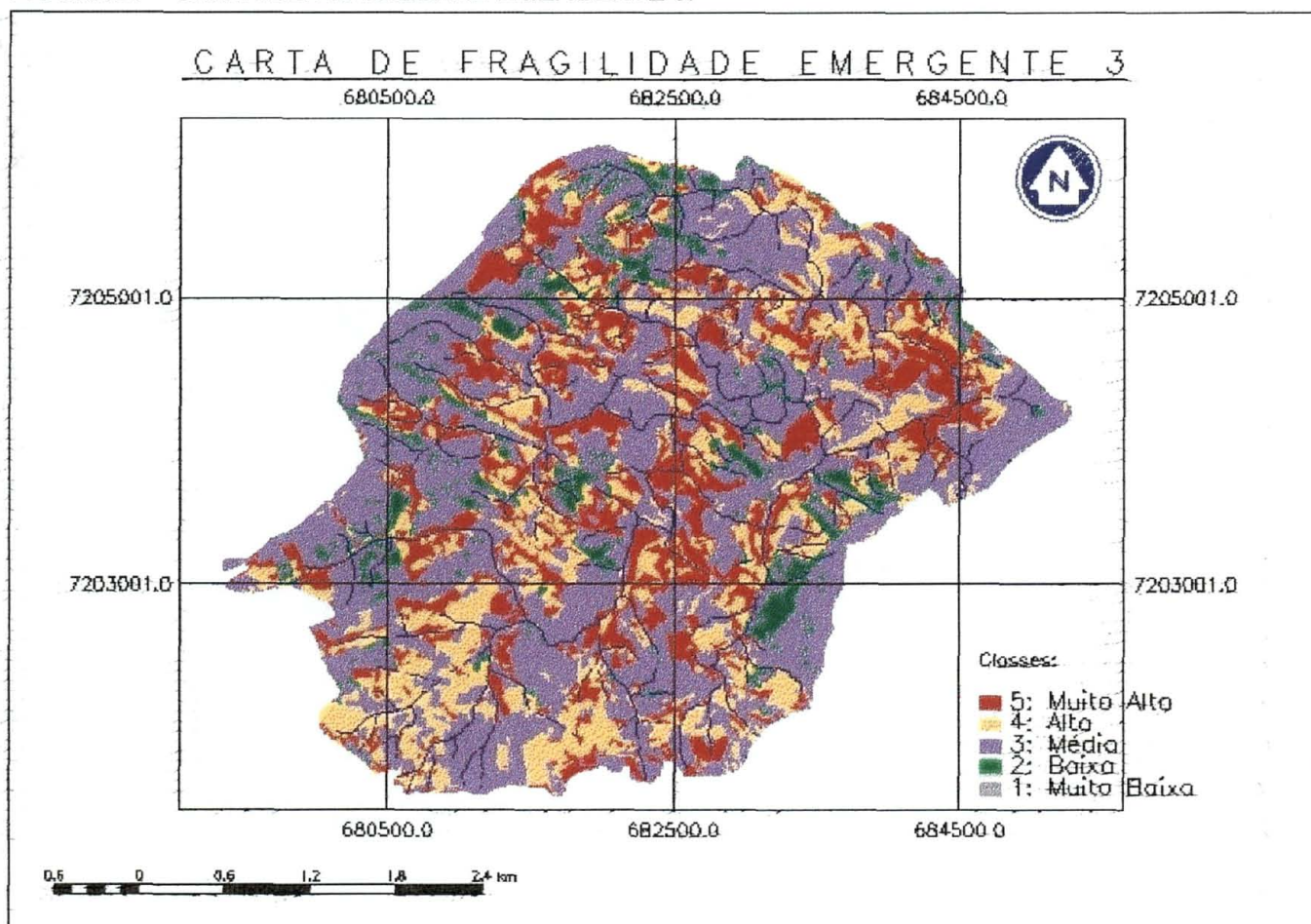
Classes de fragilidade	Area (hectares)	Porcentagem
Muito Baixa	---	---
Baixa	132,28	8,24
Média	780,83	48,65
Alta	359,74	22,42
Muito Alta	332,04	20,69
Total	1.604,89	100,00

As classes de fragilidade emergente Muito Alta e Alta quando comparadas à tabela 20 apresentaram uma diminuição das suas percentagens, ao passo que as classes Média e Baixa apresentam um aumento de 43,80 para 48,65% e de 3,32% para 8,24% respectivamente. Assim como no cenário da CFE2, a classe que obteve o maior aumento proporcional foi a Classe Baixa com também aproximadamente 2 vezes e meia o seu valor.

A categoria agrícola quando confrontada com o cenário da CFP3 conferiu ao meio áreas de Muito Alta fragilidade emergente (20,69%) em menor expressão quando comparadas àquelas do cenário da Carta de Fragilidade Potencial 2 (33,79%). Isto pode ser notado espacialmente na área da bacia hidrográfica cárstica, conforme a figura 19: a classe muito alta que anteriormente ocupava a porção do espaço central da bacia, passa agora a se confinar em pequenas áreas concentradas mais ao norte da bacia. Outro fato importante a ser notado é o aparecimento da classe de Baixa fragilidade emergente na região sudeste (SW)

onde predominam os Cambissolos latossólicos, desse fato deduz-se que a exploração dos recursos naturais nesta região da CFP3 pode imprimir ao meio natural uma baixa fragilidade. Pode-se dizer que estas áreas de Baixa fragilidade potencial, se admitida como verdadeira a CFP3, são pouco vulneráveis à olericultura (desde que praticada de forma a não degradar os recursos naturais), ao cultivo da Bracatinga e, obviamente, à Vegetação Natural.

FIGURA 21 – CARTA DE FRAGILIDADE EMERGENTE 3.



Assim como na CFE 2, a análise separada das categorias de uso das terras da bacia hidrográfica cárstica proporciona outra compreensão da fragilidade ambiental.

Na TABELA 23 estão discriminadas as três categorias de uso da terra mais significantes em termos de superfície da bacia hidrográfica. Elas estão sendo confrontadas com as classes da Carta de Fragilidade Potencial 3.

TABELA 23. ÁREAS (HECTARE) RESULTANTES DO CRUZAMENTO ENTRE AS CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 3 (CFP3) E CARTA DE USO ATUAL DAS TERRAS (CUT).

Categorias	Agricultura		Vegetação Natural		Vegetação Plantada	
	ÁREAS					
	ha	%	Ha	%	Há	%
Muito Baixa	----	-----	----	----	----	-----
Baixa	0,90	0,14	1,20	0,26	1,19	0,30
Média	319,65	49,45	129,8	28,67	134,71	34,46
Alta	313,76	48,54	297,60	65,73	225,55	57,70
Muito Alta	12,08	1,87	24,17	5,34	29,47	7,54
Sub-total	646,39	100,00	452,76	100,00	390,91	100,00

Conforme os dados acima, a categoria Agricultura obteve a maior representatividade na classe de Média fragilidade potencial (os Cambissolos Cd2 e Cd3 em relevos plano a suave ondulado de morros e colinas do tipo R2), com 49,45% dos 646,39 ha. Quando somada à classe Baixa elas perfazem 49,59% da área agrícola, o que mostra uma tendência à alteração para o outro extremo da fragilidade potencial quando comparada com a CFP2, onde 80,07% da área agrícola está confinada às classes de Alta e Muito Alta Fragilidade Potencial. A categoria agrícola apresenta 0,14% de sua área em áreas de Baixa fragilidade potencial coincidindo com 2,23% das TBREe's em relevo Plano de morros e colinas baixas com encostas convexas longas e côncavo-convexas curtas, sobre os diques de diabásios.

As classes Vegetação Natural e Vegetação Plantada obtiveram suas maiores representatividades espaciais na classe de Alta fragilidade potencial, com 65,73% e 57,70% respectivamente.

As porcentagens dos tipos de uso das terras podem revelar a intensidade e a lógica de exploração dos recursos naturais praticados na bacia hidrográfica: pode-se notar que apesar de 50,41% (48,54%+ 1,87%) da exploração olerícola intensiva ser praticada em áreas de alta e muito alta fragilidades potenciais, 71,07% (65,73% + 5,34%) da vegetação natural foi preservada nestas mesmas áreas; da mesma forma 65,24% da silvicultura (bracatinga).

Deve-se, contudo, atentar ao fato que as maiores áreas são as da tipologia Agricultura (49% da área da bacia hidrográfica), praticada em sua maior parte nos

solos mais aptos (Ca e Cd3) e férteis (Hg), relevos planos e sobre as geologias críticas em termos hidrogeológicos (os metadolomitos e aluviões), conforme os dados do Anexo 6.

4.2.1.4. Carta de Fragilidade Emergente 4.

A Carta de Fragilidade Emergente 4 resulta do cruzamento da Carta de Fragilidade Potencial 4, advinda também da operação de soma ponderada da técnica AHP, com a Carta de Uso Atual e Ocupação das Terras (CUT).

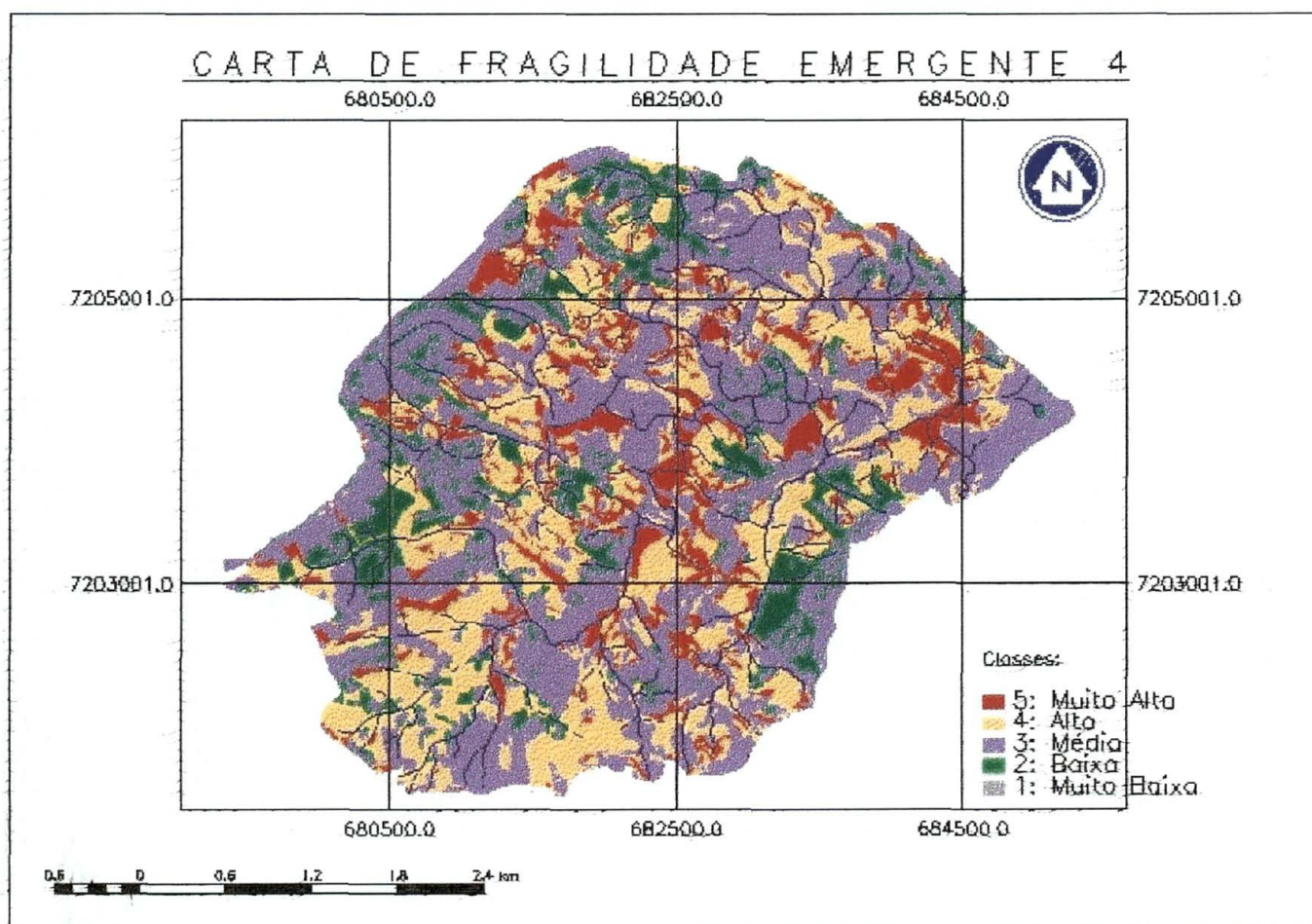
O resultado deste cruzamento pode ser verificado na tabela 24,

TABELA 24 - CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE EMERGENTE 4.

Classes de fragilidade	Área (hectares)	Porcentagem
Muito Baixa	---	---
Baixa	222,88	13,88
Média	695,11	43,31
Alta	478,88	29,85
Muito Alta	207,91	12,96
Total	1.604,78	100,00

Em relação à CFE 3, observa-se um aumento das classes Alta (de 22,42 para 29,85%) e Baixa fragilidade emergente (de 8,24% para 13,88%). Contudo, há uma diminuição da Classe de fragilidade emergente Média (de 48,65 para 43,31%). As classes Média e Baixa quando somadas perfazem 57,19% da área da microbacia hidrográfica, que se comparada ao cenário anterior (CFE3) não apresentaram alteração importante (0,3%).

FIGURA 22 – CARTA DE FRAGILIDADE EMERGENTE 4.



A partir da tabela 25 pode-se verificar as áreas das categorias de uso das terras que se encontram situadas em classes de baixa a muito alta fragilidade emergente.

TABELA 25. ÁREAS (HECTARE) RESULTANTES DO CRUZAMENTO ENTRE AS CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 4 E DA CARTA DE USO ATUAL DAS TERRAS.

Categorias	Agricultura		Vegetação Natural		Vegetação Plantada	
	ÁREAS					
	Ha	%	ha	%	ha	%
Muito Baixa	----	----	----	----	----	----
Baixa	37,62	5,82	8,72	1,93	10,72	2,74
Média	404,83	62,63	195,4840	43,18	186,93	47,83
Alta	195,28	30,21	229,35	50,66	167,26	42,80
Muito Alta	8,66	1,34	19,21	4,24	25,90	6,63
Sub-total	646,39	100,00	452,76	100,00	390,80	100,00

Conforme os dados acima, a classe Agricultura obteve sua maior representatividade na classe de Média fragilidade potencial, com 62,63% dos 646,39 ha, seguida da classe Alta fragilidade potencial com 30,21%. O cruzamento da categoria Agricultura (leia-se olericultura convencional sem práticas conservacionista) com as classes de fragilidade potencial Baixa e Média conferem ao cenário da CFE4 uma área de Alta ($5 + 2 / 2 = 3,5$ e $5 + 3 / 2 = 4$) fragilidade emergente.

As classes Vegetação Natural e Vegetação Plantada obtiveram suas maiores representatividades espaciais na classe de fragilidade potencial Alta (50,66%) e Média (47,83%) respectivamente, conferindo à bacia as classes de Média ($1 + 4 / 2 = 2,5$ e $2 + 3 / 2 = 2,5$) fragilidade emergente.

Através dos dados obtidos na construção das cartas de fragilidade emergente pôde-se construir outra tabela (TABELA 27) sintetizando a evolução das classes de fragilidade potencial frente aos quatro cenários (cartas) construídos no desenvolvimento metodológico.

TABELA 26 - SÍNTESE DA EVOLUÇÃO DAS CLASSES DE FRAGILIDADE EMERGENTE.

CARTA	CFE1	CFE2	CFE3	CFE4
CLASSE	ÁREA (%)			
Muito Baixa	----	----	----	----
Baixa	0,52	3,32	8,24	13,88
Média	46,38	43,80	48,65	43,31
Alta	12,70	19,09	22,42	29,85
Muito Alta	40,40	33,79	20,69	12,96
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

A partir destes dados, pôde-se construir uma outra tabela sintetizando a evolução das áreas de tipologia de uso atual das terras frente aos quatro cenários representados pelas Cartas de Fragilidade Potencial.

TABELA 28 - CENÁRIO EVOLUTIVO DAS ÁREAS DA TIPOLOGIA DE USO ATUAL DAS TERRAS SEGUNDO AS CARTAS DE FRAGILIDADE POTENCIAL.

		CLASSES DE FRAGILIDADE POTENCIAL (carta 1 → carta 4)*				
	%	MA	A	Me	B	MB
U S O A T U A L	Agricultura		69,30	→ 62,63		
	Veg. Natural		60,55	72,53		
	Veg. Plantada		57,82	69,84		
	Campo		75,10	75,78		
	Vila		57,47	58,49		
	Água	60,21		→ 69,98		
	Área Urbana		100		→ 96,64	
	Mineração		77,95	81,63		

(*) a seta significa o sentido da evolução as tipologias de uso das terras, que passa da carta de fragilidade potencial 1 para a 4.

Assim, conforme os dados da tabela 27, podemos verificar que 5 (cinco) tipologias de uso atual das terras que se situavam na classe de **Alta** fragilidade potencial (na primeira carta) passaram a situar-se na classe de **Média** Fragilidade potencial (na quarta carta), sejam elas: Agricultura, Vegetações Natural e Plantada, Campo e Vila.

Com relação às tipologias Água e Mineração, seus índices acima expostos não devem ser considerados, pois mesmo localizando-se em áreas de baixa e média fragilidade potencial elas devem ser consideradas como áreas a serem poupadas de qualquer interferência de usos rurais e urbanos, ou seja devem pertencer sempre a uma classe de fragilidade muito alta, em particular nestas áreas de especificidade geológica com função de abastecimento de água.

Contudo, é a partir da média entre os valores das classes de fragilidade potencial e tipologias de uso atual das terras que obtemos a fragilidade emergente do ambiente e, portanto, o resultado final a ser considerado.

Em se considerando o cenário da primeira carta de fragilidade potencial que localiza 69,30% da tipologia Agricultura em áreas de **Alta** fragilidade potencial,

resultando em uma fragilidade emergente **Muito Alta** $[(4+5)/2=4,5]$, esse mesmo cenário é alterado quando utilizada a Carta de Fragilidade Potencial 4 (CFP4), onde 68,57% da área agrícola encontra-se espacialmente distribuída em locais de **Média** fragilidade potencial que quando confrontada com a tipologia agrícola confere ao ambiente uma fragilidade emergente **Alta**, ou seja, $[(3+5)/2=4]$, onde '3' é o valor da fragilidade potencial, '5' o peso relativo ao grau de proteção conferido à tipologia Agricultura sem práticas conservacionistas e '4' o valor da fragilidade emergente.

Contudo, quando a tipologia agrícola confronta-se com as áreas de baixa fragilidade potencial, a fragilidade emergente da Bacia hidrográfica em questão é diminuída para a classe Média $(2+5)/2=3,5$, onde '2' é o valor da fragilidade potencial.

Sabendo que as atividades humanas são as que conferem a vulnerabilidade a um determinado geossistema que pode ou não se apresentar frágil aos processos naturais morfodinâmicos, deve-se, então, fazer um exercício analítico considerando os impactos dos agroecossistemas locais, inclusive daqueles que vêm apresentando um crescimento vertiginoso em toda RMC e particularmente no Município de Colombo, como é o caso da Agricultura Orgânica.

A partir de uma análise comparativa das atividades agrícolas locais para as quatro cartas de fragilidade potencial, podemos notar que na CFP4, cerca de 20% da área agrícola (19,43% conforme a tabela 17, pg 96) encontra-se em áreas de **Baixa** fragilidade potencial, enquanto que na Carta de Fragilidade Potencial 1 não existem áreas de baixa fragilidade. Isso nos permite inferir que a olericultura convencional atualmente praticada nas áreas de baixa fragilidade potencial resulta em áreas de **Média** fragilidade emergente. Ou seja, em 20% da área da BHC/FR a olericultura convencional não se caracteriza como uma atividade de grande impacto ao meio ambiente.

Para as áreas de Alta Fragilidade Potencial e Média fragilidade potencial a olericultura convencional deve sofrer modificações ou adaptações de forma a abaixar o grau da fragilidade emergente que porventura imprime nestas áreas.

Em se tratando de uma região que vem presenciando um aumento dos sistemas de produção orgânico (DAROLT, 2000) o incentivo à mudança para esses

sistemas alternativos de produção nas áreas de **Alta** fragilidade emergente faria com que essa classe fosse abaixada para **Média**, devido às características de conservação dos recursos comentadas no subcapítulo 2.3 (ALTIERI, 1989; PRIMAVESI, 1983).

Fica evidente que para tal mudança ocorra deve haver consenso por parte dos agricultores na substituição da enxada rotativa para o preparo do solo e um incentivo às instituições de pesquisa e extensão rural para a produção de implementos alternativos à prática referida.

Sabendo-se que as prognoses geográficas constituem o objetivo do estudo dos geossistemas (SOTCHAVA, 1977), deveremos então traçar um quadro comparativo que nos indique a evolução da exploração do sistema natural.

A partir de dois cenários de uso e ocupação das terras da BHC/FR, um de 1996 (FRITZSON, 1999), encontrada no anexo 2, e outro de 2001 (SUDERSA, 2001), poderemos visualizar as suas diferenças e identificar a direção para a qual caminha a fragilidade do ambiente em questão.

Assim, a partir das diferenças entre as tipologias de uso e ocupação das terras dos anos de 1996 e 2001 obtemos uma análise temporal traduzida na seguinte tabela:

TABELA 29 - DIFERENÇAS ENTRE O USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS DE 1996/2001.

1996 2001		T I P O L O G I A		
		1	2	3
T	1	-190,37 ha + 187,55 ha + 120,05 ha		
I	2			
P	3			
O				
Porcentagem ⁽¹⁾		- 29,57%	+ 40,77%	+ 44,25%

NOTAS: 1 = Áreas Florestais (equivalente à área de vegetação natural); 2= Áreas de Agricultura;
3= Áreas de Bracatinga (equivalente à área de Vegetação Plantada).

(1) Aumento ou redução proporcional ao ano de 1996.

Traduzindo essas informações, podemos verificar que houve uma redução de 29,57% da Área Florestal desde 1996. A essa redução seguiu-se um aumento de

40,77% e 44,25% das Áreas de Agricultura e Bracatinga respectivamente. Devemos destacar, entretanto, que o aumento das tipologias 2 e 3 não respondem a fatos aleatórios, mas sim traduz a lógica produtiva do sistema agrícola local descrito como sistema de cultivo convencional de hortaliças e a Bracatinga, que ocorre em diversos estágios de desenvolvimento e utilizada para combustão nos fornos de calcário e madeira para arrimos em obras de construções.

Se admitirmos uma constância desse aumento percentual da área de agricultura e bracatinga, nos próximos 5 anos a área passará de 647,55 ha atuais de agricultura para 911,56 ha e de 391,35 ha de bracatinga para 564,52 ha.

Em se considerando a classificação de ROSS (1994) para a Agricultura praticada localmente – olericultura convencional sem práticas conservacionistas do solo - como sendo de proteção Muito Baixa do Solo, ou seja, classe 5, deveremos admitir que, se estabelecido o cenário de constância acima descrito, poderá haver um aumento quantitativo das áreas de fragilidade emergencial com classes acima de 3 (Classe Média), caso não sejam incentivadas formas alternativas de produção olerícola.

6 CONCLUSÃO

A busca de subsídios para o planejamento do uso sustentável das terras, objeto principal do trabalho, só foi possível mediante a obtenção de respostas adequadas aos objetivos enunciados no início da dissertação.

Foi proposta a discussão da noção de fragilidade ambiental através dos conceitos de estabilidade, meio ambiente, paisagem e geossistema. Esse recorte teórico permitiu desenhar os limites da discussão sobre a qual foram construídas as bases para a aplicação da metodologia proposta, a fim de caracterizar e classificar características de fragilidade morfodinâmica do terreno (pedológicas, geomorfológicas e geológicas).

Os instrumentos básicos identificados na metodologia de ROSS (1994) ao longo do trabalho, definidos pelo uso rígido da lógica booleana e atribuição estática de pesos às categorias do geossistema (pedologia, geomorfologia, declividade e geologia e uso das terras) identificaram classes de fragilidade potencial alta a muito alta.

Quanto ao uso das terras, essa mesma metodologia de mapeamento da fragilidade ambiental identificou que as práticas de olericultura convencional imprimiram uma elevada fragilidade emergente no geossistema estudado.

Embora utilizando ainda da lógica booleana para o cruzamento dos planos temáticos, o uso de critérios alternativos - como as mudanças na hierarquização das classes de fragilidade para categorias pedológicas (Cambissolos latossólicos) e geomorfológicas (encostas convexas longas/côncavo-convexas curtas e as encostas convexas/convexo-retilíneas curtas) - na valoração de elementos subestimados na metodologia original, resultou numa segunda carta de fragilidade ambiental com resultados nitidamente diferentes dos anteriores: emergência de áreas de baixa fragilidade em detrimento de áreas de alta e muito alta fragilidade mais coerentes com as características físicas específicas da microbacia hidrográfica.

Mas, o diferencial mais significativo alcançado nas cartas de fragilidade emergente 3 e 4 é creditado à utilização do instrumental AHP (*Analytical Hierarchy Process*), baseado na lógica *fuzzy*, possibilitando a comparação pareada entre os

elementos do geossistema. Este modelo alternativo para mapear a fragilidade ambiental forneceu resultados bastante diferenciados do modelo original (ROSS, 1994): migração das áreas de alta e muito alta fragilidade emergentes para áreas de média e baixa fragilidade emergentes.

Com a aplicação do novo instrumental AHP chegou-se a indicadores substantivamente diferentes aos do primeiro mapeamento da fragilidade ambiental, indicando um ambiente de baixa e média fragilidade para a exploração agrícola da BHC/FR. Portanto, quando comparados as duas situações oriundas da aplicação metodológica com e sem o auxílio da ferramenta de avaliação por múltiplos critérios, notou-se uma redução da fragilidade total da área da bacia hidrográfica cárstica, em especial nas áreas de exploração agrícola.

O desenvolvimento do modelo alternativo possibilitou criar outros cenários comparativos para o mapeamento da fragilidade ambiental, impossíveis de serem aferidos a partir de um único modelo. Nesse sentido, esses novos procedimentos permitiram variadas comparações entre as cartas, simulando-se resultados a partir de diversas combinações: parâmetros semelhantes com lógicas diferentes (cartas 1 e 3); parâmetros semelhantes com lógicas diferentes (cartas 2 e 4).

Esse exercício comparativo, mais do que atender a um mero exercício acadêmico permite destacar os diferentes critérios teórico-metodológicos enfatizados pela metodologia alternativa, assim como destacar as especificidades do ambiente natural da Bacia Hidrográfica Cárstica de Fervida e Ribeirão das Onças, isto é, a valorização de critérios subestimados pela metodologia original (solo como fator de estabilização do relevo - o que confere ao subsistema pedologia um destaque em relação aos outros subsistemas – e a relativização da hierarquização rígida das classes de fragilidade entre as categorias temáticas) e a utilização de lógica não dicotômica (*fuzzy* Ponderado em oposição à lógica booleana) no cruzamento das informações temáticas.

7 RECOMENDAÇÕES FINAIS

A explicação dos fenômenos naturais e sociais, materializados pela dinâmica dos geossistemas, depende do entendimento da paisagem, uma vez que nela se exteriorizam e se expressam o conjunto das relações entre sociedade e natureza.

O quadro de crise atual da região compreendida pelo aquífero cárstico (na qual se insere o objeto da pesquisa) pode ser traduzido pelo tipo de utilização local dos recursos hídricos: para o abastecimento da população urbana, e pelas políticas ambientais restritivas ao uso da água de superfície para a irrigação de produtos hortigranjeiros.

Os limites dos modelos tradicionais de diagnóstico da fragilidade dos sistemas naturais, não permitem captar a complexidade geossistêmica. É recomendável incorporar elementos teóricos e metodológicos novos, de acordo aos marcos do desenvolvimento sustentável para superar aqueles limites.

A metodologia de mapeamento da fragilidade ambiental mostra-se adequada para a análise da dinâmica dos geossistemas quando incorpora junto aos componentes do sistema natural (pedologia, geologia, geomorfologia e vegetação), o fator antrópico, representado pela lógica produtiva e pelo uso dos recursos naturais.

O resultado obtido através da metodologia de Ross poderia induzir aparentemente a um impedimento da utilização efetiva do espaço para fins produtivos. Ora, nem sempre uma intervenção humana no meio é sinônimo de degradação ambiental, desde que a tecnologia empregada seja adequada ao potencial ecossistêmico existente.

A partir do exposto, é recomendável buscar metodologias de mapeamento da fragilidade ambiental, a fim de alcançar um diagnóstico por meio de critérios e indicadores condizentes com os geossistemas locais. Alcançar um diagnóstico coerente com a dinâmica dos sistemas naturais e sociais, é um pressuposto fundamental para desenhar estratégias de desenvolvimento sustentável.

Para tanto, deve-se considerar agricultura sustentável (ALTIERI, 1989; CARMO, 1998) de forma a reduzir ou atenuar a instabilidade morfopedogenética potencial na Bacia hidrográfica Cárstica de Fervida e ribeirão das Onças.

Devido à natureza complexa dos sistemas espaciais-ambientais, no mapeamento da fragilidade ambiental recomenda-se o uso de ferramentas que resgatem as incertezas e a pluralidade de perspectivas envolvidas na análise e modelagem dos sistemas. Deve-se superar a análise causal e determinística advindas de explicações científicas tradicionais, incapazes de traduzir a complexidade contida nas dinâmicas dos geossistemas.

Um importante fator a ser considerado, a título de planejamento do uso sustentável das terras, é a análise histórica da produção agrícola da Região Metropolitana de Curitiba que aponta para o surgimento de novas formas alternativas de produção, destacando-se a agricultura orgânica. Com base nesta informação pode-se adotar uma política de planejamento do uso das terras que minimize o cenário conflitivo em torno da questão da exploração dos recursos naturais.

Deve-se considerar que na metodologia de mapeamento da fragilidade ambiental sugerida por ROSS (1994), a questão do uso das terras se limita apenas a alguns agrossistemas, quando seria recomendável considerar a existência de inúmeros outros tipos (convencionais, alternativos ou tradicionais) para a análise da fragilidade ambiental. No caso da olericultura praticada na BHC/FR, ela foi classificada como de grau de proteção do solo muito baixo embora os indicadores utilizados (áreas queimadas, aração e gradeação, etc) não condissem totalmente com as práticas reais da cultura olerícola (excessiva mobilização do solo, uso intenso de agroquímicos e irrigação). Por outro lado, indicadores mais condizentes com as práticas diferenciadas de cada agrossistema, poderiam estabelecer outros tipos de classificação.

Adotando-se a carta quatro (04) da fragilidade emergente para o planejamento do uso sustentável das terras pode-se traçar as seguintes diretrizes: o incentivo à mudança para os sistemas orgânicos de produção nas áreas de alta e média fragilidade emergente, desde que substituídas as técnicas de preparo do solo com enxada rotativa por outras menos degradantes das qualidades físico-químicas do

solo; e a manutenção da olericultura convencional restrita apenas às áreas de baixa fragilidade emergente, ou seja, em apenas 20% da área total da BHC/FR.

A busca de alternativas à metodologia de mapeamento da fragilidade ambiental deve privilegiar a utilização de ferramentas que atentem para a participação e diálogo de saberes importante para a solução da crise paradigmática e uma alternativa ao planejamento do uso sustentável das terras, a fim de permitir a produção de novos conhecimentos e engendrar práticas diferentes ao modelo predatório de civilização instaurado pela economia de mercado e pelo produtivismo exacerbado.

Ficam pendentes algumas ações relativas ao aperfeiçoamento das propostas à metodologia de mapeamento da fragilidade ambiental.

Adotar outros intervalos (classes) de fragilidade além daquele originalmente utilizado na metodologia sugerida por ROSS (1994). Assim, futuramente poderiam ser utilizados valores intermediários dentro das cinco classes de fragilidade (da Muito Baixa a Muito Alta).

Incorporar indicadores capazes de avaliar a fragilidade dos solos levando-se em consideração a qualidade dos solos.

Adotar outros indicadores de susceptibilidade à erosão, incorporando à metodologia o mapa de erosão potencial derivado de equações de perda de solo.

Adotar outros indicadores de graus proteção do solo associados às tipologias de uso das terras, bem como incorporar (elaborar) uma lista dos tipos de agroecossistemas existentes com suas variantes locais de modo a avaliar as formas de ocupação e apropriação da terra e dos recursos naturais ali existentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. **Mudança tecnológica e agricultura sustentável**: estratégias e lógicas tecnológicas dos agricultores da região Metropolitana de Curitiba. Curitiba, 2001. 19f. Projeto de Tese (Programa Comum de Pesquisa/Turma IV) –Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Paraná.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia**: as bases científicas da agricultura alternativa. Rio de Janeiro: PTA/FASE, 1989, p.240.

ALTIERI, M. A. e NICHOLLS, C. Una perspectiva agroecológica para una agricultura ambientalmente sana y socialmente más justa en la América Latina del siglo XXI. In: LEFF *et al.* **La transición hacia el desarrollo sustentable**. Perspectivas de América Latina y el Caribe. México: PNUMA, 2002. p.281-304.

BECK, U; GIDDENS, A. e LASH, S. **Modernização Reflexiva**. Política, tradição e estética na ordem moderna. São Paulo: Fundação Editora da Unesp, 1995, 71p.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. In: **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, no. 13, p 1-27, 1971.

BEZERRA, M.C.L. e VEIGA, J.E. **Agricultura Sustentável**. Brasília: Edições IBAMA, 2000.

BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R. Estudos preliminares na Série Açungui V – estruturas organógenas nos dolomitos da Formação Capiçu, estado do Paraná. **Dusenía**, Curitiba, v.7, n.6, p.317-323, 1956.

BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. Contribuição à geologia da região sul da Série Açungui (Estado do Paraná). **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n, 29, p. 3-19, 1958a.

BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. Estudos preliminares na Série Açungui VIII – a Formação Votuverava. **Bol. Inst. Hist. Nat. Geol.**, São Paulo, n.2, 1958b

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R.; SILVA, J. X. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 16 e 17, p. 117-151, 1965.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F.; **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora UFSC, 1994. v. 1, 425 p.

BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E.; BECKER, R. D.; **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**: intemperismo biológico, pedogênese, laterização, bauxitização e concentração de bens minerais. Florianópolis: Editora UFSC, 1996. 2 v. 413 p.

BRANDENBURG, A. **Agricultura familiar, ONG's e desenvolvimento sustentável**. Curitiba: Editora da UFPR, 1999.

BUTLER, B.E. **Periodic phenomena in landscapes as a basis for soil studies**. Australia: CSIRO Australia Soil Publication, n. 14, 1959.

CANALI, N.E. **Análise morfométrica da Bacia do Rio Açungui – PR**. Curitiba, 1986. 177f. Tese (Concurso para Professor Titular) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

CANALI, N. E. e OKA-FIORI, C. Padrões de relevo no médio rio Açungui-PR. RA'EGA, Curitiba, v.1, n.1, p.105-110, 1997.

CARMO, Maristela S. do. A produção familiar como locus ideal da agricultura sustentável. In: FERREIRA, A. D. E BRANDENBURG, A. **Para pensar outra agricultura**. Curitiba: Editora da UFPR, 1998. p. 215-238 .

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, p.147, 1991.

CASSETI, V. **Elementos de geomorfologia**. Goiânia: Editora de UFG, p.137, 2001.

CHORLEY, R. J. A geomorfologia e a teoria dos sistemas gerais. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v.11, n.21, p. 3-22, jun. 1971.

COMEC. **Relatório Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba, 1997. 100p.

COMEC. Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (Curitiba, PR). **Mapa planialtimétrico folha SG-22-X-D-I 4-NO-A**. Curitiba, 1976. 1 mapa. 58 X 85 cm. Escala 1: 10.000.

COMEC. Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (Curitiba, PR). **Mapa planialtimétrico folha SG-22-X-D-I 4-NO-B**. Curitiba, 1976. 1 mapa. 58 X 85 cm. Escala 1: 10.000.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, Editora da USP, p.141, 1974.

CUNHA, S. B. e GUERRA, A.J.T. Degradação ambiental. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertand Brasil, 1996. p. 337-379.

DAROLT, M. R. **As dimensões da sustentabilidade**: um estudo da agricultura orgânica na RMC, PR. Curitiba, 2000. Tese (Doutorado em Meio ambiente e Desenvolvimento), Universidade federal do Paraná.

DEMMATTÊ, J.A.M. e DEMÉTRIO, V.A. **Caracterização de solos por padrões de drenagem e sua relação com índices de intemperismo**. Disponível em: <<http://www.scielo.br>> Acesso em: 15/06/2002.

DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE: A reconstrução da ruralidade e a relação sociedade/natureza. Curitiba: Editora da UFPR, n.2, 2000.

DIAS, M. V. F. e SALAZAR JR, O. Geologia da sequência Antinha – Grupo Açungui, PR. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3., 1987, Curitiba. **Atas...** Curitiba: SGB, 1987, 2-v., p. 263-279.

DNAEE. **Dados Hidrológicos**. Estações Colombo (1975-1985), Juruqui - Almirante Tamandaré (1976-1985). Curitiba, Banco de Dados Regional do Sistema de Informações de Dados Hidrológicos, 1995.

DOS SANTOS, I. **Proposta de mapeamento da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Palmital, região metropolitana de Curitiba**. Curitiba, 1997. 67f. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Setor de tecnologia, Universidade federal do Paraná.

EHLERS, E. **Agricultura sustentável**: origens e perspectivas de um novo paradigma. Guaíba: Agropecuária, 2 ed., 1999. 157 p.

ERHART, H. Biostasia e resistasia – esboço de uma teoria que considera a pedogênese como um fenômeno geológico. Tradução: Antonio Christofolletti. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v.9, n.10, p. 3-22, abr-ago, 1962.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solos (Rio de Janeiro, RJ). **Levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Paraná**. Londrina, 1984. 2 tomos. (Embrapa-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 27: IAPAR. Boletim Técnico, 16).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EMATER-Paraná. **Plano de Ação Regional 1995**. Escritório Regional. Curitiba, 1995.

EMATER- Paraná. **Mapa de solos da região do Karst**. Curitiba, 1997. 1 mapa: preto e branco, 59 x 102 cm. Escala: 1:10.000.

EMATER- Paraná. **Estudo do quadro natural: Karst**. Curitiba, 1997. 34p

EMATER- Paraná. **Olericultura Orgânica**. Curitiba, 2000. 72p.

FIORI, A. P. Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui – PR. **Boletim IG-USP, Série Científica**, São Paulo, v. 23, p. 55-74, 1992.

FIORI, A. P. Evolução geológica da Bacia Açungui. **Bol. Par. de Geociências**, Curitiba, n.42, p. 7-27, 1994.

FLORIANI, D. Diálogos interdisciplinares para uma agenda socioambiental: breve inventário do debate sobre ciência, sociedade e natureza. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, n.1, p.21-39. 2000.

FORMAN, R.T.T. e GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1986. 712p.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.; ROCHA, G.A. riscos de poluição de águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 5, São Paulo, 1988. **Anais...** São Paulo: ABAS, p. 175-185.

FRAGA, C. G. Análise introdutória à hidrogeologia do 'karst' paranaense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 8, Recife, 1994. **Anais...** Recife: ABAS/DNPM/CPRM, p. 244-255.

FRITZSONS, E. **Avaliação do impacto da contaminação por nitrogênio na Bacia Hidrográfica Cárstica de Fervida/ Ribeirão das Onças – Colombo/PR**. Curitiba, 1999. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

FUNTOWICZ, S. O. information tools for environmental policy under conditions of complexity. **Environmental issues series**, Luxembourg, n.9, 1999. Disponível em: <<http://www.eea.eu.int>. > Acesso em: 03 dez. 2002.

GEHLEN, I. Agricultura familiar de subsistência e comercial: identidade cabocla e inclusão social. In: FERREIRA, A. D. E BRANDENBURG, A. **Para pensar outra agricultura**. Curitiba: Editora da UFPR, 1998. p. 51-70

GEORGE, Pierre. As bases geográficas da sociologia rural. **Vida rural e Mudança social: leituras básicas de sociologia rural**. 3. ed. São Paulo: Ed. Nacional, 1979.

GERRARD, J. **Soil Geomorphology**: an integration of pedology and geomorphology. London: Chapman & Hall, 1992.

GOLDBLAT, D. **Teoria Social e Ambiente**. Lisboa: Instituto Piaget, 1996, 269p.

GOMES, I. **Geossistemas**: sistemas e subsistemas naturais da Regional Barreiro – Belo Horizonte – MG/BR. Disponível em: <<http://members.tripod.com/ivairr/index.html>> Acesso em: 09/11/2002.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

HENKLAIN, J. C. e CASÃO JUNIOR, R. Preparo do solo. In: PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Manual técnico do subprograma de Manejo e conservação do solo**. 2. ed. Curitiba: IAPAR, 1994. p. 130-157.

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina: Fundação Instituto Agrônomo do Paraná, 1978, 38 p.

IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: Seminário Adubação Verde, 1983, Rio de Janeiro. p. 232-267.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Apostila do curso – SPRING 3.4 (versão Windows)**. São José dos Campos, 2000.

KARAN, K. F. **Agricultura Orgânica: estratégia para uma nova ruralidade**. Curitiba, 2001. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Paraná.

KARLEN *et al.* Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. In USDA e NRCS. **The Soil Quality Concept**. Washington: The Soil Quality Institute, 1996. p. 39-52.

KLEIN, R. Fitofisionomia e notas sobre a vegetação para acompanhar a planta fitogeográfica de parte dos Municípios de Rio Branco do Sul – Bocaiúva do Sul – Almirante Tamandaré e Colombo (PR). **Boletim da UFPR**. Instituto de Geologia, Curitiba, n.3, 93p., 1962.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica “Ceres” Ltda., 1985. 492p.

LAL, R. **Sustainable management of Soil resources in the humid tropics**. Tokyo; New York; Paris: United Nations University Press, 1994.

LEFF, E. Epistemologia ambiental. São Paulo: Cortez, 2001. p. 160-190.

LEPHS, I. **Solos: formação e conservação**. São Paulo: Edição Melhoramentos, 1977.

LISBOA, A. A. Proposta de metodologia para avaliação hidrogeológica do aquífero cárstico, compartimento de São Miguel. In: SEMINÁRIO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA. Boletim de resumos... Curitiba, p.18-20, 1997.

LISBOA, A. A. e BONACIM, E.A. Sistema aquífero cárstico: reservatório elevado da Região Metropolitana de Curitiba. *Sanare*. Curitiba, v.4, n.4, p. 26-30, 1995.

LOVELOCK, J. **As Eras de Gaia**: a biografia de nossa Terra viva. Tradução: Beatriz Sidou. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2. ed. Rio de Janeiro: J.Olympio, 1981.

MAYA, A. A. **La trama de la vida**: las bases ecológicas del pensamiento ambiental. Cuadernos Ambientales n.1. Bogotá: Témpera Impresores, 1993.

MAYA, A. A. **La tierra herida**: las transformaciones tecnológicas del ecosistema. Cuadernos Ambientales n.2. Bogotá: OP Gráficas, 1995.

MARINI, O. J.; TREIN, E.; FUCK, R. A. O Grupo Açungui no Estado do Paraná. **Bol. Par. de Geociências**, Curitiba, n. 23/25, p. 43-103, 1967.

MEDEIROS, G. B. Características, uso e manejo das principais classes de solo. In: PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Manual técnico do subprograma de Manejo e conservação do solo**. 2. ed. Curitiba: IAPAR, 1994. p. 51-60.

MENDONÇA, F. A. **Geografia e meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 1993, 78p.

MINEROPAR. **Mapa Geológico**: Folha A 103 – Área III. Curitiba: Mineropar, 1997. 1 mapa: color; 60 x 80 cm. Escala 1: 20.000. Convênio: COMEC e Mineropar.

MINEROPAR. Atendimento ao usuário. **Glossário de termos geológicos**. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/mineropar>> Acesso em: 10 out. 2002.

MIRANDA, E. E. e BOGNOLA, I. A. Zoneamento Agroecológico do Estado do Tocantins. Disponível em: <<http://www.nma.embrapa.br/projetos/tocant/obje.html>> Acesso em: 08/04/2000.

MOTTI, P. e MOTTI, C.P. O estudo integrado do meio natural: o mapa dos geossistemas da área de Santa Quitéria (quadricula de Ibitiara), Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, Aracaju, 1973. **Anais...** Aracaju: SGB, p. 385-392.

NETTO, Ana, L.C. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2 ed., 93-143p, 1995.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Tradução de Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro: Guanabara, 1986.

OLIVEIRA, J. B; JACOMINE; P.K. T.; CAMARGO, M. N. Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal: FUNEP, 2 ed., 1992.

PASSOS, M. M. Unidades básicas e dinâmica atual da paisagem no Pontal do Paranapanema. **Revista de Geografia**, São Paulo, v.10, p. 51-73, 1991.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1974.

PRIMAVESI, A. O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1983.

REDCLIFT, M. E WOODGATE, G. De una sociología de la naturaleza a una sociología ambiental. Más allá de la construcción social. In: **Revista Internacional de Sociología** (RIS), Madrid, n.19 e 20, jan-ago, p. 15-40, 1998.

RODRIGUES, S. C. Análise da Fragilidade do relevo: abordagem empírico-experimental. In: **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.12, n.23, p.167-189, 2000.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia – FFLCH-USP**, São Paulo, n.6, p.17-29, 1992.

ROSS, J. L. S. Análise empírica dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia – FFLCH-USP**, São Paulo, n.8, p. 63-74, 1994.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 3ed. São Paulo: Contexto 1996a, 85p.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia aplicada aos EIA-RIMAS. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertand Brasil, 1996b. p. 391-336.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia ambiental. In: In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertand Brasil, 1998. p. 351-388.

RUELLAN, A. e DOSSO, M. **Regards sur le sol**. Paris: Éditions Foucher, 1993.

SANEPAR. RIMA – Relatório de Impacto Ambiental: **exploração do aquífero Kartz**. Curitiba, 1996. 51p.

SANEPAR. **Estudo do impacto ambiental da exploração do aquífero Carste das Sub-bacias de Colombo Sede e Fervida, Município de Colombo-PR. Tomo 1**. Curitiba, 2001.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo. Razão e emoção**. São Paulo: Huitec, 2.ed., 1997.

SALAMUNI, R. e BIGARELLA, J. J. Contribuição à geologia do Grupo Açungui. **Boletim da Universidade Federal do Paraná**, Curitiba, n.23, p.01-32, 1967.

SILVA, J. G. da. **O que é questão Agrária**. São Paulo: Editora Brasiliense, Coleção primeiros passos. 3 ed., 1981.

SILVA, R. e OKA-FIORI, C. Estudo das formas cársticas como base para o gerenciamento do uso do manancial subterrânea na região de Almirante Tamandaré e Rio Branco do Sul – Paraná. **Bol. Par. de Geociências**, Curitiba, n.44, p. 59-66, 1996.

SILVA, R. da. **Identificação das áreas de recarga e descarga do aquífero Carste na Bacia do Ribeirão da Onça e a sua relação com o manancial de superfície, no município de Colombo-PR**. Curitiba, 2001. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SOTCHAVA, V. B. O estudo de Geossistemas. **Revista Métodos em Questão**, São Paulo, n.16, p. 1-51, 1977.

SOTCHAVA, V.B. Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre. **Biogeografia**, São Paulo, n.14, p. 1-24, 1978.

SUDERSHA. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos (Curitiba, PR). **Classificação supervisionada**. Curitiba, 2001. (não publicado).

TEODOROVICZ, A. *et al.* **Projeto Curitiba. Informações básicas sobre o meio físico**: subsídios para o planejamento territorial. Folha Curitiba – 1:100.000. Curitiba: CPRM, Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba, 1994. 109 p.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977, p. 91.

TROPPEMAIR, H. Ecossistemas E Geossistemas Do Estado De São Paulo. In: **Boletim De Geografia Teórica**, Rio Claro, v. 13, n.25, p. 27-36, 1983.

UFPR. Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Região Metropolitana de Curitiba**. Linha de Pesquisa: Sistemas Sociais, Técnicos e Naturais em Áreas Rurais. Curitiba, 2001. Projeto em andamento.

WISNIEWSKI, C. O enfoque sistêmico no diagnóstico de propriedades agrícolas. In: UFPR. DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA - **Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo de solos agrícolas**. 2 ed.ver. e ampl. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2003. 1-5 p.

ANEXOS

ANEXO 1. DESCRIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, MORFOLÓGICA e MINERALÓGICA DOS PRINCIPAIS SOLOS QUE OCORREM NA ÁREA de COLOMBO SEDE e FERVIDA (SANEPAR, 2001).

2. Solos derivados de filitos:

1.a. Cambissolos

Ocorrem principalmente nas **áreas acidentadas**, associados geograficamente aos Solos Litólicos. Devido ao intemperismo incipiente, podem possuir **minerais primários** de fácil decomposição como feldspato, mica, horblenda, augita e outros, mas, contudo já mostram um certo grau de desenvolvimento de estrutura e cor, embora muitas vezes ainda se apresentem “massudos” e “desbotados” ou “pálidos”. Ainda devido ao intemperismo incipiente, os **teores de silte são altos**, fazendo com que a relação silte/argila seja elevada, apresentando-se maior que 0,6 para textura argilosa e maior que 0,7 quando a textura for média.

A distribuição de argila ao longo do perfil se faz de maneira bastante homogênea, sendo que por vezes pode ocorrer até mais argila no horizonte A que no B. Não há, então, nenhum incremento de argila dos horizontes superficiais para os subsuperficiais.

Estes solos podem ocorrer nas mais variadas classes de relevo, desde o **ondulado até o montanhoso**, correlacionando-se na maioria das vezes com **superfícies geomórficas jovens**.

A potencialidade destes solos para uso é muito variável, mas existem muitos Cambissolos com características propícias para utilização agrícola. Apesar de não apresentarem incremento de argila ao longo do perfil, sua suscetibilidade à erosão está condicionada à classe de relevo em que ocorrem, à textura, ao manejo adotado, uma vez que normalmente estão em relevos mais dissecados.

1.b. Solos Litólicos

Ocorrem nas **superfícies mais jovens, mais declivosas** ou ainda nas mais resistentes da paisagem, onde os processos pedogenéticos são mais lentos, em função do clima mais ameno por exemplo, ou são menos eficientes que os processos de remoção do material intemperizado, os quais são acelerados em áreas de declives muito acentuados. É comum que apresentem **cascalhos** ou muitos fragmentos de rochas de diversos tamanhos, intemperizados ou não na massa do horizonte A ou sobre a superfície. Pelo fato do horizonte A ser geralmente pouco espesso e ser o único praticamente explorado pelas raízes, apresentam pouco volume para o armazenamento da água e nutrientes para as plantas, além de serem **muito suscetíveis à erosão**. Os solos litólicos em relevo ondulado prestam-se para pastagem natural, com algumas restrições referentes à presença do

contato típico e espessura reduzida. Os que ocorrem em relevos mais fortes, em função da alta suscetibilidade à erosão e pedregosidade, devem ser destinados à preservação permanente.

3. Solos derivados de rochas carbonáticas.

2.a Latossolo Vermelho-escuro

Sob esta denominação estão compreendidos os solos minerais, com B latossólico, de **textura argilosa**, ricos em sesquióxidos, porém com teores de óxido de ferro, titânio e manganês menores que os de Latossolo Roxo. São muito profundos, de seqüência de horizontes A, B, C, sendo a espessura de A+B superior a 3m, **muito porosos e permeáveis**, de bem a acentuadamente drenados. O horizonte B apresenta espessura superior a 200 cm. São predominantemente **distróficos, moderadamente ácidos**. Apresentam cores avermelhada escuras, com **estrutura granular de fraca a moderadamente desenvolvida**.

2.b Podzólico Vermelho -escuro

Ocorrem geralmente em relevo um **pouco mais acidentado e dissecado** que os Latossolos Vermelho-Escuros, variando de **ondulado a forte ondulado** e, os declives, de 8 a 25%. Apresentam variações morfológicas acentuadas ao longo dos perfis, fato que permite distingui-los, às vezes com facilidade dos Latossolos. Outra característica morfológica importante é a estrutura, identificada como do tipo subangular em geral de tamanho médio e variando em desenvolvimento desde moderada fraca, até fortemente desenvolvida. A espessura dos Podzólicos é em geral inferior à dos Latossolos.

2.c Cambissolos

Na área estudada verifica-se a existência de dois tipos de Cambissolos, em função da profundidade do solum (A+B) : Cambissolos profundos e pouco profundos.

Os cambissolos **profundos** possuem **A húmico** com cores **bruno-escuro** na matiz 7,5 YR 3/3. Neste horizonte, a textura é em geral argilosa, com argila de atividade baixa, apresentando-se normalmente eutróficos ou até mesmo distróficos. O horizonte subsuperficial Bi apresenta **argila de baixa atividade, textura argilosa**, com média a alta saturação por bases. Sua cor oscila entre o vermelho-amarelo a vermelho-escuro (5YR 4/6 e 7,5 YR 4/6, respectivamente). Ocorrem em relevo ondulado e em menor proporção no forte ondulado. Percebe-se uma ocorrência preferencial nos **terços médios e inferiores das encostas**. Quanto ao uso, os cambissolos profundos mostram bom potencial para lavouras, embora sua distribuição geográfica seja pequena.

Os cambissolos pouco profundos apresentam-se em média com profundidade do solum em torno de 80 a 90 cm. Apresentam horizonte **A proeminente** com 30 a 40 cm. A cor é Bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3). A textura é **muito argilosa**, composta de **argila de atividade baixa**. Apresentam menor potencial agrícola, podendo ser utilizados para silvicultura e, até, a silvicultura com excelentes resultados, se manejados adequadamente.

4. Solos derivados de diques de diabásio.

3.a Latossolo Roxo

São muito homogêneos quanto às suas características, com pequena diferenciação entre os horizontes, devido à pequena variação das propriedades morfológicas, o que torna suas transições difusas, exceção feita ao horizonte A, cuja transição normalmente é clara ou gradual, devido aos teores de matéria orgânica mais elevados. Ocorrem predominantemente em áreas com relevo suave ondulado a ondulado. Apresenta cor avermelhada homogênea em todo o perfil. Podem apresentar o topo do horizonte Bw brunado, seguido de uma camada brunada que não seja muito representativa em relação à camada avermelhada. Apresentam geralmente horizonte A bem desenvolvido. Sem dúvida, são os solos que ocorrem nesta área, que apresentam o melhor potencial agrícola, uma vez que são profundos, porosos, muito bem drenados, sem impedimentos à mecanização e pouco suscetíveis à erosão, se manejados adequadamente.

3.b Terra roxa estruturada

Apesar de se tratarem de solos com horizonte B textural, apresentam grande potencial para exploração por serem profundos e bem drenados, requerendo, porém, um bom planejamento conservacionista. A estrutura do horizonte superficial é constituída por blocos grandes a pequenos, moderadamente desenvolvidos, que se desfazem em moderadamente forte, pequena granular. Quimicamente, pode-se afirmar que são eutróficos neste horizonte. Quanto à consistência, apresentam-se friáveis, firmes quando úmidos e ligeiramente plásticos e ligeiramente pegajosos, quando molhados. Ocorrem predominantemente em relevo ondulado. Sua textura é muito argilosa com consistência muito firme quando úmido, pegajoso a muito pegajoso e muito plástico quando molhado. As terras Roxas Estruturadas ocorrem mais freqüentemente nos terços inferiores e médios de algumas encostas ou em locais que se apresentam ligeiramente côncavos, sob influência dos Diques de Diabásio.

4. Solos sobre depósitos quaternários

4.a Cambissolo húmico-gleico

São cambissolos com características transicionais para solos Gleis. Compreendem solos minerais, imperfeitos a moderadamente drenados, medianamente profundos e constituídos por um horizonte superficial A sobre um horizonte B incipiente, no qual ocorrem indícios de gleização (cores acizentadas devido à redução do ferro), em função da influência do lençol freático na base do horizonte B. Possuem seqüência de horizontes A, Bi e Cg.

4.b Solos Glei-húmicos.

Solos minerais, predominantemente argilosos, hidromórficos, mal ou muito mal drenados, com presença de horizonte Glei dentro dos 50 cm superficiais, formados sob influência do lençol freático, na superfície ou próximo dela, durante todo o ano a maior parte deste. Originam-se de materiais provenientes de sedimentos recentes do Holoceno, de composição diversa, que foram depositados nos referidos locais. Por esta razão, suas características físicas e químicas, como fertilidade e textura por exemplo, são bastante variáveis, sendo as texturas médias e argilosas as mais frequentes.

Ocorrem em locais abaciados, isolados ou próximos aos cursos d'água onde os fenômenos de hidromorfia são bem manifestados. O relevo é plano. Dependendo das características fisiográficas dos planos aluviais onde ocorrem, podem aparecer em áreas amplas e contíguas ou ser restritas a pequenas áreas rebaixadas e levemente côncavas, que recebem grande contribuição de água das pendentes adjacentes, sendo a principal forma de recarga do aquífero cárstico.

ANEXO 2. DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS DE ACORDO COM AS TIPOLOGIAS DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA PRESENTES NA BHC/FR, EM MAIO DE 1996¹.

Tipologias	Uso Da Terra	ÁREA (HECTARES)	% Da Área Total
1	Áreas Florestais	643,8	38,6
2	Áreas agrícolas	460,0	27,5
3	Áreas de bracinga	271,3	16,3
4,4,6,7,8 e 9	Outros	293,3	17,6
Total		1.668,0	100,0

FONTE: FRITZSONS (1999).

NOTAS: 1 = Áreas Florestais; 2= Áreas de agricultura; 3= Áreas de Bracinga; 4= Áreas de Reflorestamento; 5 = Araucárias com Gramíneas; 6 = Áreas de Sucessão Florestal; 7 = Áreas de Pastagem; 8 = Áreas de Mineração; 9 = Áreas de Habitação.

- (1) A Carta de Uso e Ocupação das Terras foi confeccionada a partir de fotos aéreas de maio de 1996, em escala de 1:60.000 e posteriormente ajustada para a escala de
- (2) 1:10.000. As diferentes feições delimitadas na foto resultaram em 9 diferentes tipologias, as quais depois de definidas em fotos aéreas foram verificadas a campo.

ANEXO 3. FOTO DE GLEBAS DA BHC/FR NAS QUAIS SÃO RETRATADOS O TIPO DE CULTIVO, O SISTEMA DE IRRIGAÇÃO E O PREPARO DO SOLO.



ANEXO 4. TABELAS RELACIONANDO AS QUATRO CATEGORIAS TEMÁTICAS (PEDOLOGIA, DECLIVIDADE, GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA) COM AS ÁREAS (EM %) DAS CLASSES DE FRAGILIDADE DAS QUATRO CARTAS DE FRAGILIDADE POTENCIAL (CFP1, CFP2, CFP3 E CFP4).

TABELA A 4.1 – PORCENTAGEM DAS CLASSES DE PEDOLOGIA DISTRIBUÍDAS NAS CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 1.

Classes	Ca	Cd1	Cd2	Cd3	Rd1	Rd2	Hg	TRBEe	Re1	Re2	Total (%)
3 (Me)	---	---	---	---	---	---	---	100	---	---	100
4 (A)	15,42	14,78	38,19	23,00	---	---	---	8,61	---	---	100
5 (MA)	6,71	15,56	14,94	14,68	3,32	22,03	13,49	7,05	0,41	1,81	100

TABELA A 4.2 – PORCENTAGEM DAS CLASSES DE DECLIVIDADE DISTRIBUÍDAS NAS CLASSES CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 1.

Classes	Plano	Suave Ondul.	Ondulado	Forte Ondulado	Montanhoso	Total
3 (Me)	13,35	33,00	53,65	---	---	100
4 (A)	13,16	27,47	32,92	26,45	---	100
5 (MA)	20,59	12,88	9,94	9,22	47,37	100

TABELA A 4.3 – PORCENTAGEM DAS CLASSES DE DECLIVIDADE DISTRIBUÍDAS NAS CLASSES CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 1.

Classes	R1	R2	R3	Total
3 (Me)	---	100	---	100
4 (A)	---	79,38	20,62	100
5 (MA)	21,46	35,19	43,35	100

TABELA A 4.4 – PORCENTAGEM DAS CLASSES DE DECLIVIDADE DISTRIBUÍDAS NAS CLASSES CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 1.

Classes	Dolomitos	Pelitos	Quartzitos	Diabásio	Aluviões	Form. Guab.1	Form. Guab.2	Total
3 (Me)	---	---	---	100	---	---	---	100
4 (A)	58,07	31,12	0,32	9,83	---	0,35	0,31	100
5 (MA)	25,48	30,71	2,20	12,42	28,04	0,10	1,05	100

TABELA A 4.5 – PORCENTAGEM DAS CLASSES DE PEDOLOGIA DISTRIBUÍDAS NAS CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 2.

Classes	Ca	Cd1	Cd2	Cd3	Rd1	Rd2	Hg	TRBEe	Re1	Re2	Total (%)
3 (Me)	66,90	---	---	---	---	---	---	33,10	---	---	100
4 (A)	1,79	18,02	46,81	28,56	---	---	---	4,82	---	---	100
5 (MA)	6,00	15,91	14,66	14,15	3,43	22,71	13,92	6,93	0,42	1,87	100

TABELA A 4.6 – PORCENTAGEM DAS CLASSES DE DECLIVIDADE DISTRIBUÍDAS NAS CLASSES CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 2.

Classes	Plano	Suave Ondul.	Ondulado	Forte Ondulado	Montanhoso	Total
3 (Me)	26,60	40,28	33,10	---	---	100
4 (A)	9,71	24,44	33,42	32,43		100
5 (MA)	20,72	12,16	9,29	8,98	48,85	100

TABELA A 4.7 – PORCENTAGEM DAS CLASSES DE RELEVO DISTRIBUÍDAS NAS CLASSES CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 2.

Classes	R1	R2	R3	Total
3 (Me)	---	82,14	17,86	100
4 (A)	---	79,54	20,46	100
5 (MA)	22,13	33,36	44,51	100

TABELA A 4.8 – PORCENTAGEM DAS CLASSES DE GEOLOGIA DISTRIBUÍDAS NAS CLASSES CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 2.

Classes	Dolomitos	Pelitos	Quartzitos	Diabásio	Aluviões	Form. Guab.1	Form. Guab.2	Total
3 (Me)	64,63	3,79	0,06	30,71	---	---	0,79	100
4 (A)	54,91	37,19	0,37	6,93	---	0,42	0,17	100
5 (MA)	24,18	31,03	2,27	12,40	28,91	0,10	1,09	100

TABELA A 4.9 – PORCENTAGEM DAS CLASSES DE DECLIVIDADE DISTRIBUÍDAS NAS CLASSES CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 3.

Classes	Plano	Suave Ondul.	Ondulado	Forte Ondulado	Montanhoso	Total
2 (B)	85,04	13,95	1,01	---	---	100
3 (Me)	10,69	28,95	32,89	24,27	3,20	100
4 (A)	---	3,41	9,63	14,91	72,05	100
5 (MA)	---	---	---	---	100	100

TABELA A 4.10 – PORCENTAGEM DAS CLASSES DE GEOLOGIA DISTRIBUÍDAS NAS CLASSES CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 3.

Classes	Dolomitos	Pelitos	Quartzitos	Diabásio	Aluviões	Form. Guab.1	Form. Guab.2	Total
2 (B)	64,92	13,95	0,21	20,88	0,02	0,61	1,13	100
3 (Me)	47,13	28,25	0,54	11,68	11,82	0,27	0,31	100
4 (A)	32,78	47,64	2,90	9,05	6,36	0,06	1,21	100
5 (MA)	---	---	---	---	100	---	---	100

TABELA A 4.11– PORCENTAGEM DAS CLASSES DE PEDOLOGIA DISTRIBUÍDAS NAS CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 3.

Classes	Ca	Cd1	Cd2	Cd3	Rd1	Rd2	Hg	TRBEe	Re1	Re2	Total (%)
2 (B)	29,32	2,04	16,51	29,23	---	---	---	22,90	---	---	100
3 (Me)	12,50	13,40	33,62	22,93	0,14	2,12	4,90	10,20	0,03	0,16	100
4 (A)	2,60	26,39	21,48	3,78	5,29	31,37	5,86	---	0,60	2,63	100
5 (MA)	---	---	---	---	27,78	0,46	71,76	---	---	---	100

TABELA A 4.12 – PORCENTAGEM DAS CLASSES DE RELEVO DISTRIBUÍDAS NAS CLASSES CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 3.

Classes	R1	R2	R3	Total
2 (B)	0,46	88,69	10,85	100
3 (Me)	8,66	70,08	21,26	100
4 (A)	6,14	31,98	61,88	
5 (MA)	58,33	41,44	0,23	100

TABELA A 4.13 – PORCENTAGEM DAS CLASSES DE DECLIVIDADE DISTRIBUÍDAS NAS CLASSES CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 4.

Classes	Plano	Suave Ondul.	Ondulado	Forte Ondulado	Montanhoso	Total
2 (B)	52,41	30,84	16,73	0,02	---	100
3 (Me)	7,91	22,80	30,66	24,78	13,85	100
4 (A)	---	5,21	5,28	26,16	63,35	100
5 (MA)	---	---	---	---	100	100

TABELA A 4.14 – PORCENTAGEM DAS CLASSES DE GEOLOGIA DISTRIBUÍDAS NAS CLASSES CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 4.

Classes	Dolomitos	Pelitos	Quartzitos	Diabásio	Aluviões	Form. Guab.1	Form.Guab.2	Total
2 (B)	63,77	9,85	0,29	16,76	8,27	0,49	0,57	100
3 (Me)	42,73	35,33	0,82	10,40	0,23	0,51	9,98	100
4 (A)	34,61	36,82	3,22	14,31	10,06	---	0,98	100
5 (MA)	---	---	---	---	---	---	100	100

TABELA A 4.15– PORCENTAGEM DAS CLASSES DE PEDOLOGIA DISTRIBUÍDAS NAS CLASSES DA CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 4.

Classes	Ca	Cd1	Cd2	Cd3	Rd1	Rd2	Hg	TRBEe	Re1	Re2	Total (%)
2 (B)	52,97	2,05	10,09	17,33	---	---	---	17,56	---	---	100
3 (Me)	2,69	18,48	37,66	23,09	0,22	3,66	5,32	8,58	0,11	0,21	100
4 (A)	---	14,14	11,94	2,33	9,39	48,19	8,77	---	0,66	4,58	100
5 (MA)	---	---	---	---	43,91	3,70	51,75	---	---	---	100

TABELA A 4. 16– PORCENTAGEM DAS CLASSES DE RELEVO DISTRIBUÍDAS NAS CLASSES CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL 4.

Classes	R1	R2	R3	Total
2 (B)	2,70	89,67	7,63	100
3 (Me)	8,14	65,15	26,71	100
4 (A)	10,92	13,06	76,02	100
5 (MA)	100	---	---	100

ANEXO 5. TABELAS RELACIONANDO AS CATEGORIAS TEMÁTICAS (PEDOLOGIA, DECLIVIDADE, GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA) COM AS QUATRO CARTAS DE FRAGILIDADE POTENCIAL E SUAS CLASSES: SÍNTESE EVOLUTIVA.

TABELA A 5.1 - CRUZAMENTO DAS CLASSES DAS CARTAS DE FRAGILIDADE POTENCIAL COM AS CLASSES DA CARTA PEDOLÓGICA.

	CARTAS DE FRAGILIDADE POTENCIAL																				
CLASSES	1					2					3					4					
(%)	MB	B	Me	A	MA	MB	B	Me	A	MA	MB	B	Me	A	MA	MB	B	Me	A	M	
Ca				80.97	19.03			75.72	7.76	16.51			23.08	72.77	4.16			84.50	15.51		
Cd1				63.75	36.25				64.14	35.86			1.32	64.02	34.66			2.69	87.32	9.98	
Cd2				74.38	25.64				83.38	16.62			5.35	80.51	14.15			6.62	89.18	4.19	
Cd3					100				76.03	23.97			14.16	82.12	3.72			17.01	81.76	1.23	
Rd1					100					100				8.71	89.66	1.63			12.86	85.58	1
Rd2					100					100				19.73	80.27				33.71	66.33	
Hg					100					100				74.45	24.51	1.03			79.82	19.72	0
TRBEe			15.71	58.44	25.86			48.39	26.94	24.66			23.31	76.70				36.21	63.79		
Re1					100					100				15.74	84.16				49.55	50.35	
Re2					100					100				17.84	82.21				23.41		

TABELA A 5.2 - CRUZAMENTO DAS CLASSES DAS CARTAS DE FRAGILIDADE POTENCIAL COM AS CLASSES DA CARTA GEOLÓGICA.

	CARTAS DE FRAGILIDADE POTENCIAL																				
CLASSES	1					2					3					4					
(%)	MB	B	Me	A	MA	MB	B	Me	A	MA	MB	B	Me	A	MA	MB	B	Me	A	M	
Metadólom				80.83	19.17			19.39	62.98	17.63			13.42	72.68	13.90			26.96	65.16	7.88	
Metapellit				65.24	34.76			1.72	64.23	34.06			4.02	65.57	30.41			6.27	81.11	12.62	
Quartzitos				21.25	78.77			0.92	20.36	78.74			2.11	39.40	58.50			5.75	59.34	34.92	
Diques			12.17	52.22	35.61			35.16	30.32	34.52			16.62	68.74	14.64			27.04	60.53	12.42	
Aluviões					100					100			0.02	86.49	12.80	0.75		16.57	72.16	10.86	0

TABELA A 5.3 - CRUZAMENTO DAS CLASSES DAS CARTAS DE FRAGILIDADE POTENCIAL COM AS CLASSES DA CARTA GEOMORFOLÓGICA.

	CARTAS DE FRAGILIDADE POTENCIAL																			
CLASSES	1					2					3					4				
(%)	MB	B	Me	A	MA	MB	B	Me	A	MA	MB	B	Me	A	MA	MB	B	Me	A	M
R1					100					100		0.61	82.74	16.11	0.54		7.14	76.91	15.39	0.
R2			2.29	78.83	18.88			17.57	65.17	17.36		13.20	77.09	9.67	0.04		27.02	70.86	2.12	
R3			0.02	46.80	53.18			8.74	38.30	52.96		3.69	53.50	42.81			5.28	66.48	28.24	

TABELA A 5.4 - CRUZAMENTO DAS CLASSES DAS CARTAS DE FRAGILIDADE POTENCIAL COM AS CLASSES DA CARTA DE DECLIVIDADE.

	CARTAS DE FRAGILIDADE POTENCIAL																			
CLASSES	1					2					3					4				
(%)	MB	B	Me	A	MA	MB	B	Me	A	MA	MB	B	Me	A	MA	MB	B	Me	A	M
Plano			1.26	53.50	45.24			23.31	32.53	45.72		51.83	48.17				64.75	35.25		
Suave Ond			2.17	78.05	19.78			24.66	57.22	18.10		5.94	91.12	2.95			26.62	70.97	2.41	
Ondulado			3.14	83.27	13.58			18.04	69.64	12.31		0.38	92.09	7.42			12.85	84.97	2.18	
Forte Ond				84.17	15.83				85.04	14.96			85.55	14.45			7.74	86.38	13.61	
Montanhos					100					100			13.84	85.75	0.41		59.36	40.49	0.25	

ANEXO 6. TABELAS RELACIONANDO AS CATEGORIAS TEMÁTICAS (PEDOLOGIA, DECLIVIDADE, GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA) COM AS TIPOLOGIAS DE USO ATUAL DAS TERRAS DA BHC/FR.

TABELA 6.1 - CRUZAMENTO DAS CLASSES GEOLÓGICAS COM AS TIPOLOGIAS DE USO ATUAL DAS TERRAS DA BHC/FR.

	Mdolomitos	Mpelitos	Quartzitos	D. Diabásio	Aluviões
Agricultura	49.67	28.45	16.51	33.56	62.65
Veg_pla	22.10	31.13	41.21	19.27	26.85
Veg_nat	24.86	34.35	39.74	45.15	10.11
Campo	3.37	6.07	2.53	2.02	0.40
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

TABELA 6.2 - CRUZAMENTO DAS CLASSES DE RELEVO COM AS TIPOLOGIAS DE USO ATUAL DAS TERRAS DA BHC/FR

	P	SO	O	FO	M
Agricultura	58.20	54.43	41.59	32.15	22.16
Veg_plan	24.10	22.37	23.58	25.68	31.82
Veg_nat	14.73	18.59	29.91	38.31	43.92
Campo	2.97	4.62	4.92	3.86	2.10
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

TABELA 6.1 - CRUZAMENTO DAS CLASSES PEDOLÓGICAS COM AS TIPOLOGIAS DE USO ATUAL DAS TERRAS DA BHC/FR

[illegible]